



Les dynamiques de la végétation et des anthoposystèmes d'altitude cernées par l'anthracologie pastorale et minièrre à l'échelle d'un haut vallon alpestre (Freissinières, France)

Vanessa Py, Aline Durand, Bruno Ancel, Jean-Louis Édouard, Kevin Walsh,
Florence Mocci

► To cite this version:

Vanessa Py, Aline Durand, Bruno Ancel, Jean-Louis Édouard, Kevin Walsh, et al.. Les dynamiques de la végétation et des anthoposystèmes d'altitude cernées par l'anthracologie pastorale et minièrre à l'échelle d'un haut vallon alpestre (Freissinières, France). *Archeosciences, revue d'Archéométrie*, 2015, *ArchéoSciences*, 39, pp.69-92. 10.4000/archeosciences.4393 . hal-01322502

HAL Id: hal-01322502

<https://hal.science/hal-01322502>

Submitted on 27 May 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les dynamiques de la végétation et des anthroposystèmes d'altitude cernées par l'anthracologie pastorale et minière à l'échelle d'un haut vallon alpestre (Freissinières, France)

*Vegetation and Altitude Anthroposystem Dynamics, Understood by Pastoral
and Mining Anthracology, at the Scale of a High Alpine Valley (Freissinières, France)*

Vanessa PY-SARAGAGLIA^a, Aline DURAND^b, Bruno ANCEL^c,
Jean-Louis ÉDOUARD^c, Kevin WALSH^d et Florence MOCCI^e

Résumé : Cet article de synthèse propose une restitution des dynamiques de la végétation et des anthroposystèmes d'altitude, à l'échelle de la haute vallée de Freissinières (Hautes-Alpes), en s'appuyant sur l'analyse anthracologique de dépôts carbonisés miniers et (agro-) pastoraux datés de l'Âge du Bronze à la Renaissance. Les particularités archéologiques et chronologiques des différents contextes de dépôt et les méthodes d'échantillonnage et d'analyse en laboratoire sont explicitées. L'ensemble des données livrées est mis en perspective dans des diagrammes de synthèse et des tentatives de modélisation spatiale de la dynamique de la végétation et des aires d'approvisionnement en combustible pastoral et minier. De la sorte, l'étude cerne les grands changements floristiques subalpins opérés depuis l'Âge du Bronze, le développement des prés boisés et l'abaissement de la limite supérieure de la forêt dense associé à l'expansion des landes et des fourrés. En outre, elle caractérise l'évolution des pratiques d'approvisionnement et la gestion de l'inculte – en particulier durant le Moyen Âge – et saisit le cycle du fourrage de feuilles, attesté par les charbons de bois au tournant de l'ère moderne.

Abstract: This review paper outlines the reconstruction of vegetation and altitude anthroposystem dynamics, at the scale of the Freissinières high valley, based on the anthracological analysis of mining and (agro-) pastoral carbonised deposits, dating from the Bronze Age to the Renaissance. Archaeological and chronological features of the various deposit contexts, sampling protocol and laboratory methods used, have been outlined. All the obtained data has been summarized in diagrams, and attempts have been made to model vegetation dynamics and areas of firewood supply for mining and pastoral activities. Thus, this study identifies the major subalpine floristic changes that have occurred since the Bronze Age, the development of wood pasture and the lowering of the upper limit of dense forest associated with heathlands and thicket expansion. In addition, this study characterises the evolution of supply practices of fuel wood and the management of uncultivated area – particularly during the Middle Ages – and grasps the leaf-fodder cycle, documented by charcoals at the turn of the Modern era.

Mots clés : Alpes, anthracologie, combustible bois, fourrage de feuilles, Holocène, végétation.

Keywords: Alps, charcoal analysis, fuel wood, leaf-fodder, Holocene, vegetation.

^a GEODE UMR 5602 CNRS, Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées UT2J – Maison de la Recherche, 5, all. Antonio-Machado, 31058 TOULOUSE Cedex 9, France (vanessa.py@univ-tlse2.fr)

^b CReAAH UMR 6566 CNRS-CESAM, Université du Maine – Av. Olivier-Messiaen, 72085 LE MANS Cedex 9, France. (aline.durand@univ-lemans.fr)

^c Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée.

05120 L'Argentière-La Bessée – TRACES UMR 5608 CNRS, Université fédérale Toulouse Midi-Pyrénées UT2J, Maison de la Recherche – 5, all. Antonio-Machado, 31058 TOULOUSE Cedex 9, France. (brancel@orange.fr)

^d Dept of Archaeology, King's Manor, University of York, York YO1 7EP, UK. (kevin.walsh@york.ac.uk)

^e CCJ UMR 7299 CNRS, Aix-Marseille Université, MMSH – 5, rue du Château-de-L'Horloge, F-13094 AIX-EN-PROVENCE, France. (mocchi@mmsah.univ-aix.fr)

1. INTRODUCTION

La haute vallée de Freissinières, située au cœur du massif des Écrins dans les Alpes du Sud, (figure 1), a été et continue d'être un terrain d'étude privilégié des interactions sociétés-environnements en haute montagne pendant l'Holocène (Beaulieu *et al.*, 2003 ; Walsh *et al.*, 2006 ; Py *et al.*, 2014 ; Walsh *et al.*, 2014). Depuis le tournant des années 2000, plusieurs enquêtes archéologiques, adossées à des projets interdisciplinaires, ont révélé la richesse et la diversité des vestiges matériels en haute montagne (Segard *et al.*, 2003 ; Walsh, 2005 ; Walsh et Mocci, 2003 ; Walsh *et al.*, 2007, 2010). Ils sont situés à des altitudes très souvent supérieures à 2000 m, c'est-à-dire au cœur de l'inculte (*incultum*), là où les textes médiévaux situent l'espace « immémorial » de la communauté (Carrier et Mouthon, 2010), le plus souvent constitué de forêts, de cours d'eau, de pâturages, voire de minerais. Parallèlement, l'affinement de la lecture des archives sédimentaires, avec une analyse plus fine de l'Holocène récent, montre que l'Âge du Bronze et l'époque médiévale sont des séquences majeures de l'anthropisation des milieux montagnards sud-alpins, marquées par l'ouverture des paysages, le développement des prairies et l'augmentation des marqueurs du pastoralisme (Court-Picon, 2003 ; Court-Picon *et al.*, 2007 ; Py *et al.*, 2014). Par ailleurs, à ces mêmes périodes, à l'échelle locale et régionale, l'archéologie a mis en lumière deux grandes poussées de l'activité minière : recherche des métaux, extraction et transformation. À l'Âge du Bronze, cette poussée coïncide avec une implantation humaine franche en haute montagne – localement associée à des épisodes de déprises glaciaires – et elle est en partie liée à la disponibilité des ressources cuprifères (morphologie des gisements, minéralogie) (Rostan et Rossi, 2002 ; Bourgarit *et al.*, 2008, 2010 ; Carozza *et al.*, 2010). Au Moyen Âge, probablement dès la fin du x^e siècle, l'expansion de l'activité minière alpine (Ancel, 2010) apparaît comme corollaire à des conditions climatiques favorables (optimum climatique médiéval : x^e-xiii^e s.), mais elle découle de l'utilisation exclusive de l'argent pour frapper la monnaie (ix^e-xiii^e s.) (Bailly-Maître, 2002) et du morcellement du droit régalien d'exploiter les mines (Py, 2013). En effet, le délitement du pouvoir central a profité aux communautés ou à des aventuriers – nobles ou pas – capables de se lancer dans une entreprise minière. Dans la haute vallée de Freissinières, l'archéologie a mis au jour un petit complexe minier de dimension artisanale (Py et Ancel, 2007 ; Py *et al.*, 2013) principalement exploité pour son minerai argentifère entre les x^e-xiii^e siècles. Deux phases d'activité plus anciennes, romaine et protohistorique, ont été détectées par la géochimie mais ne sont pas encore caractérisées sur le

terrain. Deux épisodes plus récents, au xv^e siècle et dans le courant de l'époque moderne, ont laissé des traces fugaces peu documentées par les textes et l'archéologie. La consommation de bois, nécessaire à toutes les étapes de la chaîne opératoire du métal (l'extraction avec l'abattage par le feu, et la métallurgie), est donc susceptible d'avoir eu un impact sur l'environnement (forêt, sols, torrentialité). Cependant, à partir des seules archives sédimentaires, la part des différentes activités – pastorales, agropastorales et artisanales – dans le processus d'anthropisation demeure difficile à cerner.

Les charbons de bois, souvent conservés en abondance dans les niveaux archéologiques des cabanes ou des mines exploitées par le feu, offrent un riche matériel d'étude encore trop peu exploité dans les recherches sur les interactions homme-milieu en haute montagne. Aussi, à partir de l'étude croisée de charbons de bois issus de six cabanes et de déblais miniers, cet article propose d'éclairer et de représenter l'évolution de la végétation subalpine et supraforestière sous l'influence des activités humaines à l'échelle d'un haut vallon. Et, de surcroît, il tente de montrer comment les changements ont conditionné l'évolution et l'adaptation de certaines pratiques, en particulier entre le Moyen Âge central et le très bas Moyen Âge-Renaissance, séquence pour laquelle nous disposons de riches données anthracologiques (Durand, 2004, I ; Py, 2009, II).

2. CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL ET ARCHÉOLOGIQUE

Les sites étudiés, mines et cabanes, sont échelonnés entre 1950 et 2303 m d'altitude dans la branche terminale sud de la vallée de Freissinières (figure 1). Ce haut vallon, sculpté par l'érosion glaciaire et drainé par un dense réseau hydrographique, est entouré de versants escarpés et de hauts sommets qui culminent à plus de 3000 m d'altitude sur le flanc sud du Pelvoux. Il est situé dans une zone tampon, à la jonction d'influences méditerranéennes, sèches, et montagnardes, froides, et donc dans un milieu contraignant pour l'homme et la végétation. Cette dernière est étagée et fortement contrastée (Meyer, 1981 ; Py *et al.*, 2013). Les sites archéologiques sont inscrits dans l'étagage subalpin, aire de répartition de la série du pin cembro (*Pinus cembra* L.) et du mélèze (*Larix decidua* Mill.). Actuellement, le pin cembro est assez rare à très rare à l'état naturel et il occupe les étages subalpin et supraforestier. C'est un arbre d'altitude (optimum à l'étage subalpin, jusqu'à 2500 m d'altitude) qui, pour se développer, a besoin de contrastes thermiques élevés. Quant au mélèze, il domine seul les massifs forestiers des ubacs de l'étage subalpin. Il abandonne les adrets les

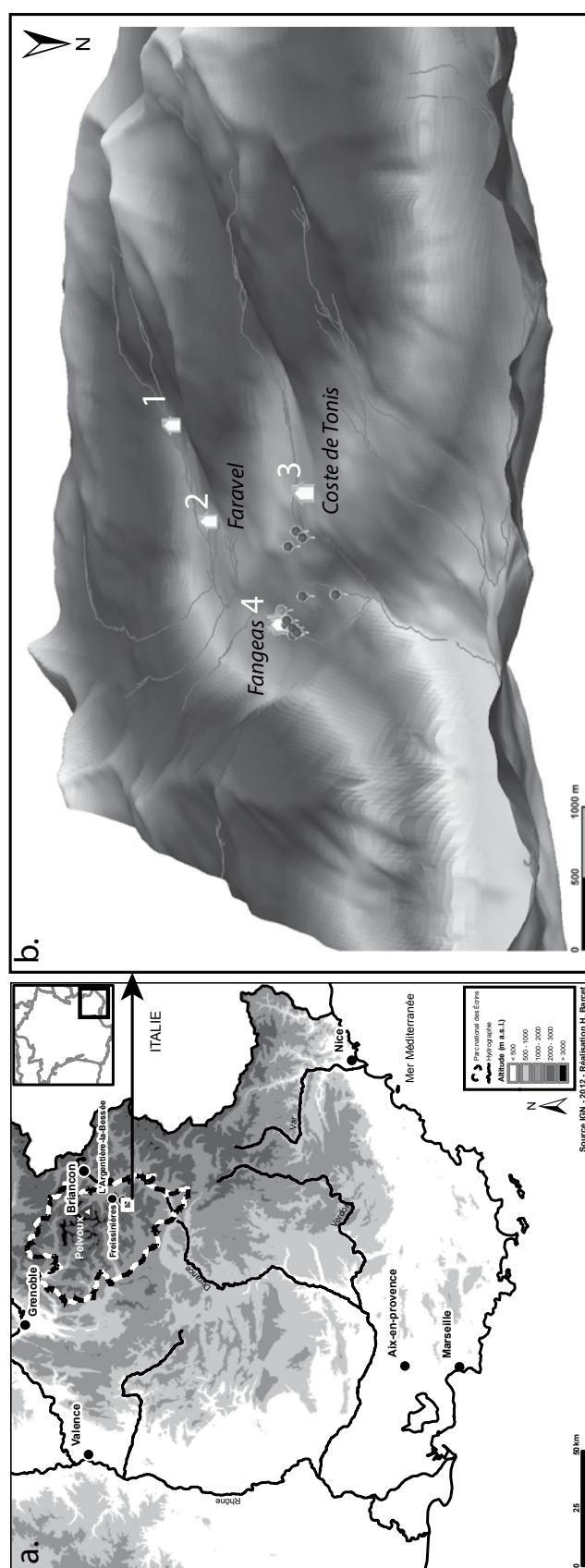


Figure 1 : (a) Carte des Alpes du Sud avec la zone d'étude et (b) BD Alti (source IGN) de la branche terminale sud de la vallée de la Byaisse avec les cabanes (1. Faravel XIX, 2. Faravel XII, 3. Coste de Tonis I, 4. Fangeas VI, VII et X) ; les mines (points gris foncés), et le bas-marais de Fangeas (point gris clair).

Figure 1: (a) Map of the Southern Alps with the study area and (b) the BD Alti (IGN source) of the southern terminal branch of the Bysaise valley with the huts (1. Faravel XIX, 2. Faravel XII, 3. Coste de Tonis I, 4. Fangeas VI, VII and X); the mines (dark grey points), and the Fangeas peat bog (light grey point).

plus xériques aux landes et au pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), relayé en altitude par le pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill.). C'est une espèce pionnière très plastique, capable de coloniser des sols écorchés, peu évolués et fréquemment rajeunis par l'érosion. Favorisé par l'absence de l'épicéa ou du sapin, il colonise depuis l'étage subalpin des formations d'ubac montagnardes. Les premiers vestiges archéologiques échelonnés sur le transect altitudinal considéré (figure 1), occupent la limite supérieure actuelle du mélèzin subalpin (mélèzin sur pré-bois). En amont, les pelouses sont pâturées modérément et le paysage est quasi-asyllatique. Il est caractéristique de la zone de combat qui s'étire entre la limite supérieure de la forêt dense et la limite des arbres (treeline).

Les minéralisations (PbS, Zns, CuFeS₂) recherchées et extraites affleuraient sur le socle cristallin du massif des Écrins – composé de gneiss et de quartz – mis au jour localement par l'érosion glaciaire (boutonnière de Dormillouse) (Py et Ancel, 2007). Les vestiges miniers reconnus sur le terrain s'échelonnent entre 1 950 et 2 150 m d'altitude (figure 1). Ils sont constitués de fosses à ciel ouvert, de puits, de tranchées et de grattages qui portent les stigmates de l'abattage par le feu (Ancel et Py, 2008 ; Py *et al.*, 2015). Certains ouvrages ennoyés (puits et chantier) ont conservé leurs boisages et leurs équipements en bois, offrant un matériel d'étude exceptionnel pour affiner la chronologie de l'activité et reconnaître les techniques et les usages du bois médiévaux (Py, 2010 ; Burri *et al.*, 2013 ; Py *et al.*, 2014).

Les analyses palynologiques et géochimiques d'une carotte prélevée dans le bas-marais de Fangeas (figure 1) ont identifié les grandes phases de l'anthropisation, dans ce secteur et ses abords, et les changements de végétation associés (Py *et al.*, 2014). Au-dessus de 2000 m d'altitude, les investigations archéologiques ont mis en évidence une présence humaine continue dès le Mésolithique et son intensification à l'Âge du Bronze avec le développement probable du pastoralisme (Segard *et al.* 2003 ; Tortzis *et al.*, 2008 ; Walsh *et al.*, 2010, 2014). L'élevage pastoral d'altitude est attesté par le site Faravel XIX (figure 1, tabl. 1). Les autres sites qui ont livré les charbons étudiés ici (Faravel XII, Coste de Tonis I, Fangeas VI, VII et X) sont datés de l'époque

Sites	Altitude	Structures	Superficie	N° US	Description US	Type dépôts	Chronologie	Références
Faravel XIX	2303 m	1 enclos + 1 cabane	Cabane 9 m ²	107	Niveau d'occupation	Charbon dispersés	Âge du Bronze	Walsh <i>et al.</i> , 2005, 2006, 2010
				103	Reliquat niveau d'occupation	Charbon dispersés		
Faravel XII	2170 m	1 cabane rectangulaire	14 m ²	104/114	Niveau d'abandon	Charbons concentrés	Fin XIII ^e -XIV ^e s.	Walsh et Mocci, 2003
				102/103	Constructions carbonisées			
Coste de Tonis I	2 200 m	Cabane rectangulaire (2 pièces)	40 m ²	108	Niveau d'occupation (avec rejets foyer 2)	Charbons concentrés à dispersés	XV ^e s.	Py, 2005 ; Py, 2009, II, 916-920
				107	Niveau d'occupation (avec rejets foyer 1)			
Fangeas VI	2010 m	Cabane carrée	7,60 m ²	7	Niveau d'occupation	Charbon dispersés	VIII ^e -X ^e s.	Walsh et Mocci, 2003 ; Py 2009, II, 925-926
				6	Foyer	Charbons concentrés		
				5	Interface sol/niveau destruction	Charbons dispersés		
Fangeas VII	2 000 m	Cabane circulaire	4 m ²	107	Niveau destruction	Charbons concentrés (vestiges construction)	XV ^e -XVI ^e s.	Walsh et Mocci, 2003
Fangeas X	2 000 m	Cabane rectangulaire (2 pièces)	48 m ²	106	Niveau d'occupation (avec rejets foyer)	Charbons concentrés	XII ^e -XIII ^e s.	Py, 2009, II, 928-933
				105/106	Interface sol/niveau abandon	Charbons dispersés		

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des sites archéologiques.

Table 1: *Recapitulative table of archaeological sites.*

médiévale ou de la transition Moyen Âge-époque moderne (figure 1, tabl. 1 et 2). Cette période correspond à une très forte anthropisation du milieu corroborée par les indicateurs polliniques et géochimiques. Les sites sont installés sur des replats naturels riches en vestiges agropastoraux (figure 2). Les structures fouillées ou sondées sont semi-enterrées avec des soubassements en pierres sèches non équarries. Elles peuvent être partitionnées en deux pièces, parfois desservies par des entrées indépendantes. Le rare mobilier retrouvé (céramique, métal, pierres à faux) indique que ces occupations sont liées à l'exploitation de prés de fauche (Fangeas et Coste de Tonis) et à l'élevage pastoral (Faravel). À partir de l'étude des traces matérielles, leur relation avec l'activité minière n'a pas pu être clairement établie (Py, 2009, II, 905-945).

3. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites et méthodes d'échantillonnage

La superficie des cabanes étant la plupart du temps très étroite (tabl. 1) et/ou la fouille étant limitée à un sondage portant sur le tiers ou la moitié de l'espace intérieur (Fangeas VI, Coste de Tonis I), les dépôts avec des charbons de bois ont, dans la mesure du possible, été prélevés dans leur quasi-intégralité. Ces dépôts sont de trois sortes : des niveaux de

destruction avec des vestiges de constructions carbonisées (parois, charpente, couverture) ; des foyers domestiques résiduels ou bien conservés (issus d'occupation plus ou moins intense et longue) ; des niveaux d'occupation ou d'abandon avec des charbons dispersés issus des foyers. Le prélèvement des foyers a été dissocié de celui des niveaux d'occupation. Les dépôts prélevés ont été tamisés à l'eau, sur place, par flottation simple à la maille 4 mm, sauf pour les vestiges de constructions incendiées de Faravel XII et de Fangeas VII où les charbons, formant des concentrations bien circonscrites, ont été ramassés à la main.

Dans les ouvrages miniers, les dépôts issus de l'abattage par le feu sont souvent très importants et riches en charbons de bois. Ils sont contenus dans des déblais, des remblais, des niveaux de circulation et parfois dans des résidus de foyers d'abattage en place. Les dépôts dans les ouvrages pouvant renseigner les différentes étapes de l'exploitation minière, étalée sur plusieurs siècles, ont été sélectionnés. Un protocole d'échantillonnage, bien expliqué par ailleurs (Py, 2006 ; Py *et al.*, 2013, 2014), a été mis en place. Il a été opéré à l'échelle de l'ouvrage et du réseau. Au total, 42 prélèvements ont été réalisés. Ils ont tous été tamisés par flottation simple dans une colonne de tamis avec les mailles 4 et 6 mm. Tous les charbons ont été séchés en laboratoire à l'abri de la lumière directe du jour et de la chaleur.

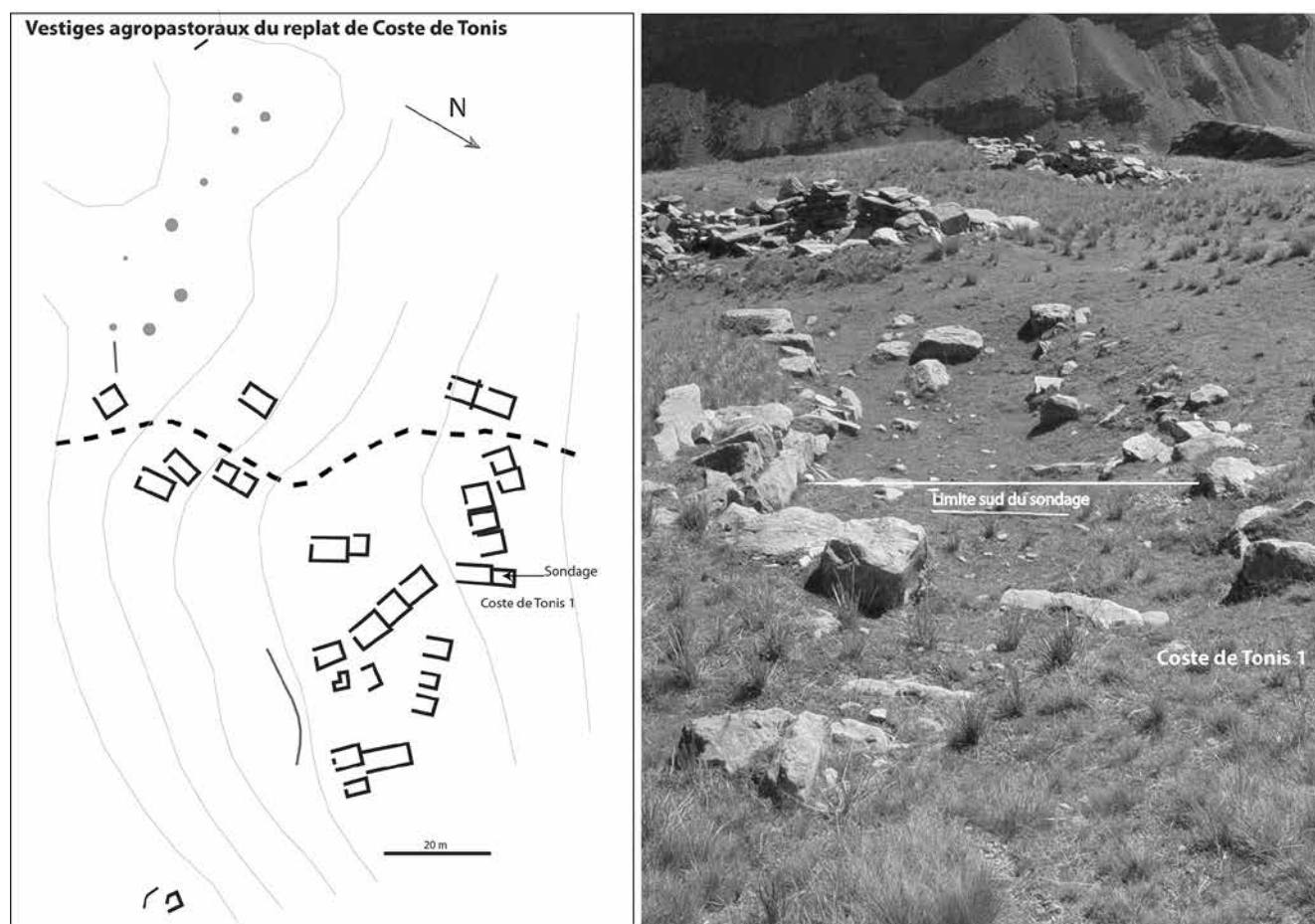


Figure 2 : Plan des vestiges du replat de Coste de Tonis (B. Ancel) et cliché du site Coste de Tonis 1 avant la fouille (V. Py-Saragaglia).
 Figure 2: Map of the remains on the terrace of Coste de Tonis (B. Ancel) and photograph of the Coste de Tonis 1 site before excavation (V. Py-Saragaglia).

Analyses en laboratoire

L'interprétation anthracologique doit reposer sur une solide chronologie des dépôts, relative et absolue. La première est fondée sur l'analyse stratigraphique et l'étude de la dynamique opératoire pour le cas particulier des mines. Le matériel archéologique datant étant très rare dans les cabanes pastorales comme dans les ouvrages miniers, la chronologie absolue repose principalement sur des analyses en laboratoire : datations par le radiocarbone (tabl. 2) et la dendrochronologie (figure 3). La méthode par scintillation (ou conventionnelle) a été privilégiée car il nous a semblé plus pertinent de sélectionner plusieurs fragments issus d'un même dépôt, plutôt qu'un seul fragment qui peut être intrusif. Dans la mesure du possible, nous avons sélectionné les brindilles et les branches ou les derniers cernes de croissance extérieurs (côté écorce) d'une grosse branche ou d'une

tige. Les quinze dates obtenues ont été calibrées à partir des données IntCal09 (Reimer *et al.*, 2009) avec le programme OxCal V4.2.2 Bronk-Ramsey, 2013 (tabl. 2). Seuls les ouvrages du secteur de Fangeas (Grand Puits et Grande Fosse), ayant conservé leurs boisages, ont pu faire l'objet d'une analyse dendrochronologique. Au total 149 sections ont été analysées (Py *et al.*, 2014). Pour les cabanes, une étude typologique du rare mobilier céramique et métallique conservé a permis de conforter et d'élargir cette chronologie (études G. Guionova et O. Thuaudet, LA3M UMR 7298 in Py, 2009, II, 930-931).

Les charbons ont été déterminés au moyen d'un microscope à lumière réfléchie équipé des grossissements 100, 200 et 500 fois. Les observations ont été réalisées sur les trois plans anatomiques du bois (transversal, radial et tangentiel) comparés avec ceux de bois ou de charbons actuels conservés dans des collections de référence, et ceux photographiés et

Lab. N°	Site	Secteur	Ouvrages miniers	Niveau-US	Type	Taxon	Date BP	Dates cal BC-cal AD (95.4 % prob.)
PA 2209	Faravel XIX	—	—	107	charbons	—	3670±45	2197-1927 calBC
—	Fangeas VII	—	—	109	charbons	—	1180±80	674-993 calAD
Ly-13005	Mine Faravel	Faravel II	Tranchée	6	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	1085±35	892-1018 calAD
Ly-13464	Mine Faravel	Fangeas I	Grande Puits	Recherche	charbons	<i>P. cembra</i>	1055±35	895-1027 calAD
Ly-13004	Mine Faravel	Faravel I	Fosse ouest	6	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	1000±35	975-1155 cal AD
Ly-13003	Mine Faravel	Faravel I	Fosse ouest	5	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	940±35	1021-1173 cal AD
Ly-13465	Mine Faravel	Fangeas I	Grand Puits	4	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	966±35	1014-1160 cal AD
Ly-13467	Mine Faravel	Fangeas II	Grande Fosse	sol	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	955±30	1022-1155 cal AD
Ly-13466	Mine Faravel	Fangeas II	Grande Fosse	sol	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	895±30	1040-1215 cal AD
Ly-13468	Fangeas X	—	—	P1-106	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	875±35	1040-1251 cal AD
Poz-20599	Mine de Faravel	Faravel I	Tranchée amont	11	charbons	<i>Juniperus</i>	890±30	1041-1217 cal AD
Ly-13002	Mine de Faravel	Faravel I	Gallerie 3	2	charbons	<i>L. decidua-P. abies</i>	780±35	1186-1284 cal AD
Pa-1843	Faravel XII	—	—	104	charbons	—	680±30	1270-1390 cal AD
Pa-1969	Faravel XII	—	—	114	charbons	—	650±40	1278-1398 cal AD
Ly-13006	Coste de Tonis I	—	—	108	charbons	<i>Ericaceae</i>	485±35	1331-1461 cal AD

Ly = Centre de datation par le radiocarbone de Lyon ; Poz = Centre de datation par le radiocarbone de Poznan ; Pa = Centre de datation par le radiocarbone de Jussieu

Tableau 2 : Liste des dates radiocarbone.

Table 2: List of radiocarbon dates.

décrits dans les atlas de xylologie (Greguss, 1955, 1959 ; Schweingruber, 1978, 1990) ou d'anthracologie (Vernet *et al.*, 2001), et dans les journaux spécialisés (Anagnost *et al.*, 1994 ; Talon, 1997). L'identification a été réalisée au rang de l'espèce (*P. cembra* ou *P. cf. cembra* quand le genre est certain et l'espèce probable), ou de deux espèces anatomiquement indistinctes (*Larix decidua-Picea abies*), ou d'un groupe d'espèces anatomiquement indistinctes (*P. type sylvestris*), ou du genre (*Acer*), de la famille (Ericaceae de montagne) ou de la sous-famille (Rosaceae, Maloideae). De plus, pour préciser les caractéristiques des peuplements exploités et du bois collecté, les modalités d'exploitation et d'acquisition, les usages, les pratiques et leur saisonnalité, l'analyse anthracologique n'a pas été limitée à la seule identification taxinomique. Elle a aussi cherché à déterminer la saison d'abattage (ou de coupe voire de chute), lorsque l'écorce (ou quelques rangées de parenchyme cortical) était conservée (figure 4), et le diamètre initial minimal de la branche ou de la tige ainsi que son âge, lorsque la moelle était également présente. La détermination précise de l'âge et de la saison d'abattage n'a été possible que pour les essences avec des limites de cernes et la transition bois initial-bois final distinctes. Pour les autres fragments qui n'étaient pas clairement issus de jeunes branches ou tiges, la courbure des cernes de croissance a été évaluée en observant la forme des limites de cernes (Marguerie et Hunot, 2007). Les conifères avec du bois de compression ont été comptabilisés pour obtenir des

informations complémentaires sur le calibre, la provenance dans l'arbre et la qualité du bois utilisé (Py *et al.*, 2013, 2014). En effet, le bois de compression est produit du côté inférieur des troncs ou des branches inclinées pour leur permettre de se redresser. Son volume dépend principalement de trois variables de forme de la tige : l'inclinaison globale, l'inclinaison locale et l'excentricité de la moelle. Aussi, il est le plus souvent localisé dans les grosses branches inférieures et les troncs non rectilignes et c'est un bois de construction de médiocre qualité (Hapca, 2004 ; Altaner *et al.*, 2009). D'un point de vue microscopique, il se caractérise par des trachéides longitudinales fortement lignifiées avec des fissurations pseudo hélicoïdales, bien visibles dans le plan radial (figure 5), et des lumens plus ouverts sur le plan transversal.

Dans la majorité des prélèvements, les traces de parasites xylophages et saprophages ont été systématiquement enregistrées : tunnels d'insectes (figure 4) et filaments de mycélium carbonisés. L'occurrence des parasites ainsi que certaines déformations anatomiques liées à l'infestation (écrasements cellulaires) peuvent renseigner sur l'état physiologique du bois avant la carbonisation et sur certaines pratiques d'acquisition et leur chaîne opératoire (Badal, 2004 ; Henry et Théry-Parisot, 2014 ; Moskal-del Hoyo *et al.*, 2010 ; Théry-Parisot, 2001).

L'effort d'analyse a été adapté en fonction du type de dépôts, de leur richesse en charbons de bois et de la quantité de sédiment prélevée (tabl. 3). Dans les dépôts miniers, un

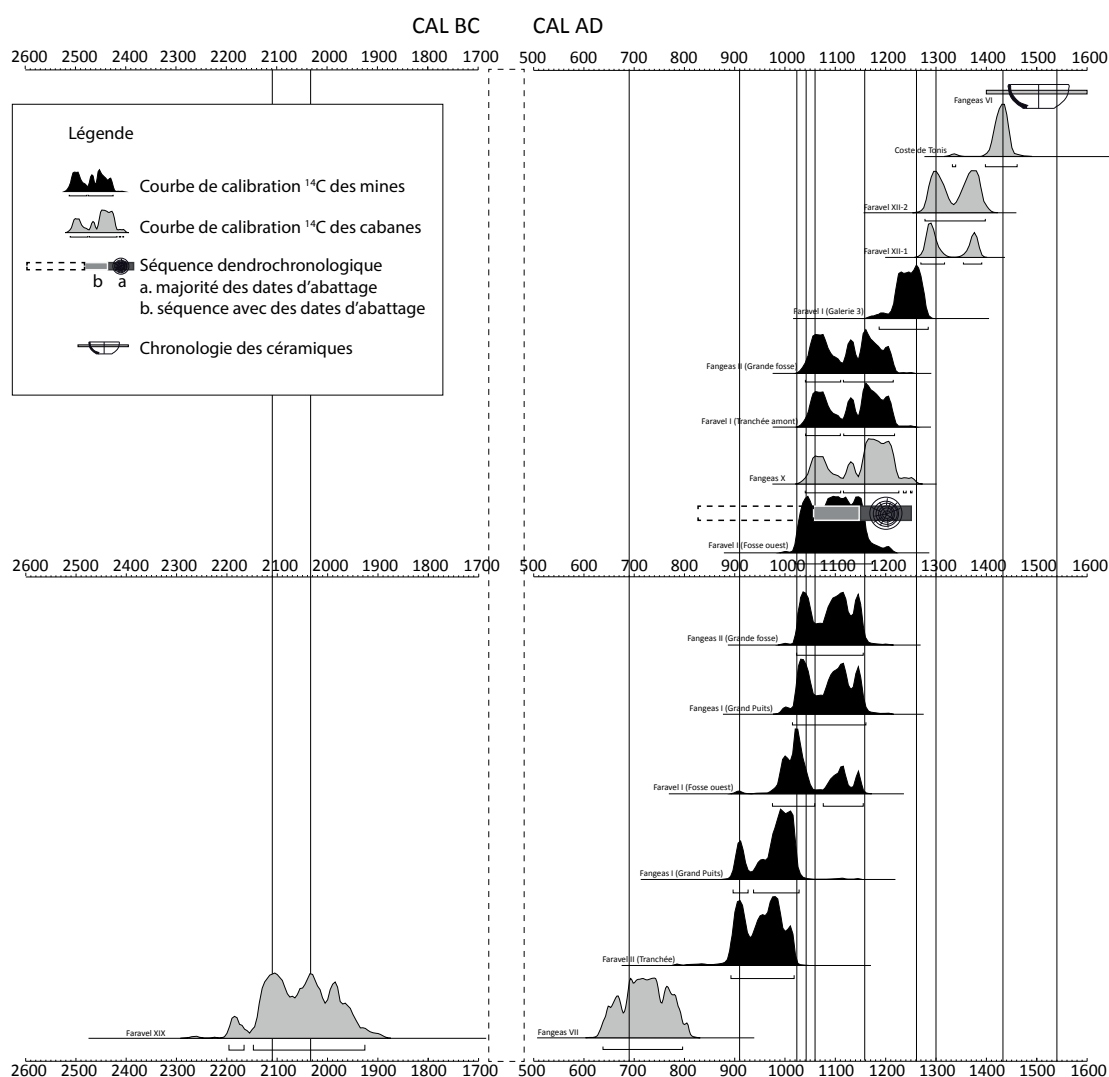
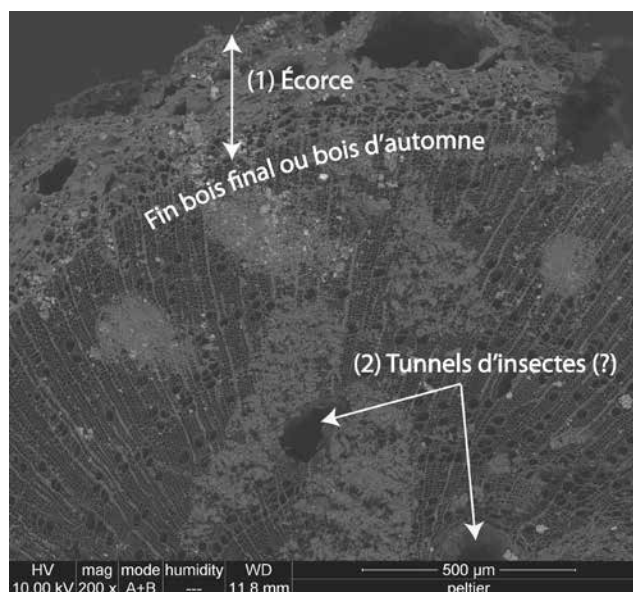


Figure 3 : Chronologie des sites étudiés avec : (1) distribution des probabilités des dates radiocarbone des mines (histogrammes noirs) et des cabanes (histogrammes gris), (2) séquence documentée par la dendrochronologie, (3) séquence documentée par le matériel céramique et métallique.

Figure 3: Chronology of studied sites with: (1) probability distributions of ^{14}C dates from the mines (black histograms) and the huts (grey histograms), (2) sequence documented by dendrochronology; (3) sequence documented by archaeological artefacts.

Figure 4 : Cliché MEB (grossissement x200) de la coupe transversale d'une branche d'aulne vert avec (1) l'écorce conservée et un arrêt de croissance à la fin du bois final, et (2) deux trous interprétés comme étant des tunnels d'insectes.

Figure 4: SEM photograph (x200 magnification) from the transversal cut of a green alder branch with (1) the bark conserved and a growth arrest in the end of the latewood, (2) and two holes interpreted as insect tunnels.



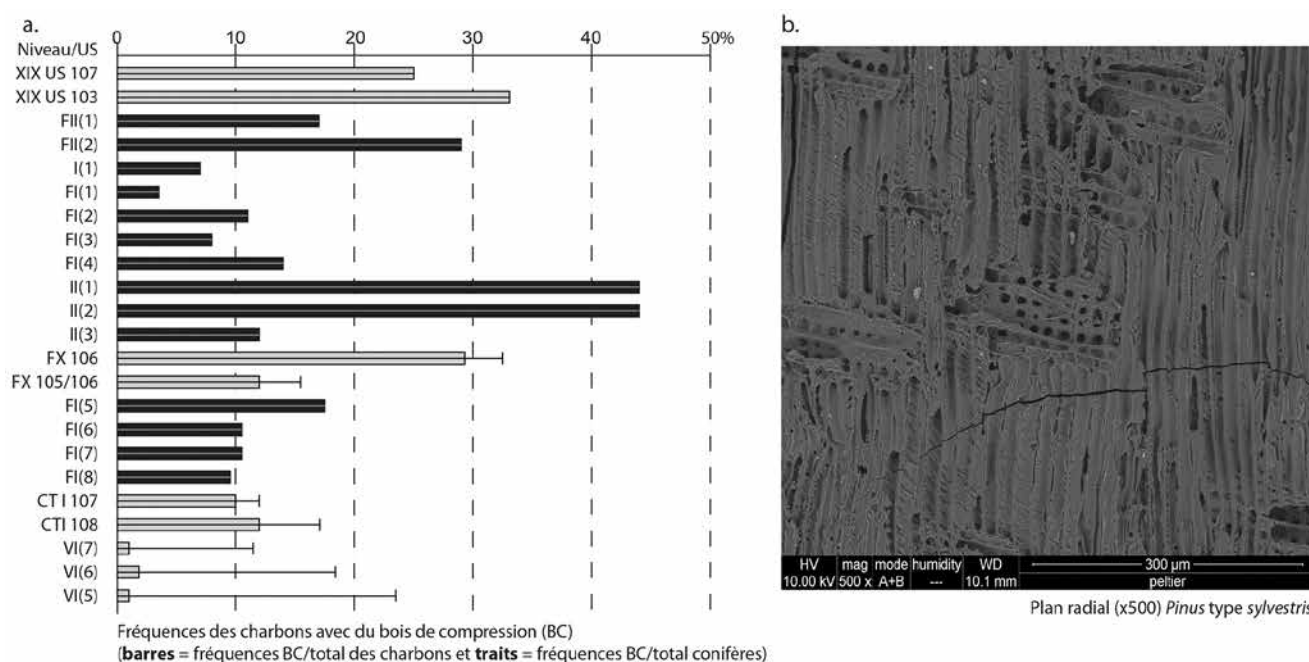


Figure 5 : (a) Fréquences des charbons et des conifères avec du bois de compression dans les différents dépôts (en gris : dans les cabanes, et en noir : dans les mines) et (b) plan radial d'un charbon de *Pinus type sylvestris* avec du bois de compression (cliché MEB, grossissement x500).

Figure 5: (a) Frequencies of charcoals and conifers with compression wood in the different deposits (in grey: from huts, and in black: from mines) and (b) radial plane of *Pinus type sylvestris* charcoal with compression wood (SEM photograph, x500 magnification).

minimum de 100 charbons est nécessaire par niveau. Dans certains cas, la fouille extensive d'un ouvrage a autorisé la récolte de plusieurs prélèvements au sein d'un même niveau. Dans ce cas, l'effort d'analyse a été plus important, en particulier pour les niveaux de circulation (ou les sols) avec des charbons dispersés. Dans les niveaux d'occupation et les foyers, le nombre de fragments analysés a été porté au moins jusqu'à 400, sauf quand la quantité de charbons de bois conservée dans un prélèvement ne l'a pas permis. Dans ce cas, on s'est limité au nombre de fragments récoltés. L'effort d'analyse a été volontairement limité pour certains prélèvements manuels de bois incendiés. C'est le cas de Fangeas VII où les charbons, très gros, provenaient probablement d'un seul et même élément de construction (poutre ou planche). Ce spectre a par conséquent une faible valeur paléoécologique. Enfin, pour mesurer la qualité de l'image paléoécologique livrée par l'étude des charbons (Chabal, 1997, 42), l'indice de concentration de Pareto (ou de Gini-Lorenz) a été calculé pour tous les prélèvements assez riches quantitativement et qualitativement (plus de quatre taxons) (tabl. 3).

4. RÉSULTATS

Chronologie

La séquence chronologique couverte par cette étude est de 3 600 ans (figure 2). Elle commence à l'Âge du Bronze ancien (Faravel XIX). Elle reprend à l'époque carolingienne avec l'occupation de la petite cabane Fangeas VII. Les charbons utilisés pour la datation proviennent de bois de construction et n'ont pas pu être sélectionnés par l'anthracologue; un effet d'arbre âgé est donc suspecté. Dans un troisième temps, nous avons une chronologie continue entre les ^x et ^{xvi} siècles cal AD. Les courbes minières s'étirent entre les ^x et ^{xiii} siècles. Dans le détail, les données dendrochronologiques, présentées dans Py et al., 2014, montrent un morcellement de l'activité. Le milieu de la séquence se superpose avec l'occupation du site agropastoral Fangeas X. La fin de la séquence est relayée par l'occupation de Faravel XII et Coste de Tonis I. La chronologie se termine avec l'occupation de Fangeas VI.

Tableau 3 : Fréquences absolues et relatives des taxons identifiés par niveau (US) et indices de concentration de Gini-Lorenz calculés pour les échantillons avec au moins 4 taxons. Seules les données minières ont été intégralement publiées (in Py *et al.*, 2013, 2014). Les données pastorale ont été partiellement utilisées dans des articles plus anciens (Walsh *et al.*, 2005 ; Py et Durand, 2010).

Chronologie	2ème 1/2 XIIIe s.						fin XIIIe-XIVe s.				1ère 1/2 XVe s.				Fin XVe-XVIe s.					
Site	Faravel II / recherche		Faravel II / gal. 3		Faravel II / gal. 3		Faravel XII		Faravel XII		Coste Tonis I		Coste Tonis I		Fangeas VI		Fangeas VI		Fangeas VI	
Age calBC-calAD	1186-1284 calAD						1270-1398 calAD				1331-1461 calAD				-		-		-	
Références échantillons	FI(6)		FI(7)		FI(8)		104/114		102/103		107		108		7		6		5	
Taxons/Fréquences	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR	FA	FR
Acer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,4	0	0	0	0
A. cf. pseudoplatanus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,8	1	0,3	0	0
Alnus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	219	44	161	54	248	63
A. cf. viridis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	2,2	6	2	17	4,3
Alnus viridis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,8	0	0	9	2,3
Arctostaphylos uva-ursi	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1,5	0	0	0	0	10	2	1	0,3	1	0,3
Berberis vulgaris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	0	0
Betula	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	0	0	0	0
Cornus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,7	0	0
Crataegus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	0	0	0	0
Corylus avellana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	4	1
Ericaceae de montagne	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,7	17	3,9	13	3	29	5,8	3	1	3	0,8
Frangula alnus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1,7	0	0
Fraxinus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	7	1,4	4	1,3	15	3,8
Juniperus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	10,6	16	3,7	7	1,4	5	1,7	2	0,5
Juglans regia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2,7	0	0
L. decidua-P. abies	128	20,6	159	40	92	46	71	93,4	124	90,5	266	61,6	272	64	54	11	31	10	32	8,1
Lonicera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0
P. cembra	396	63,9	203	51	103	52	4	5,3	6	4,4	11	2,5	6	1,4	0	0	2	0,7	0	0
P. cembra-type sylvestris	25	4	27	6,8	3	1,5	0	0	4	2,9	1	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
P. cf. cembra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	8	1,9	0	0	0	0	0	0
P. type sylvestris	61	9,8	1	0,3	0	0	0	0	0	0	5	1,2	4	0,9	0	0	0	0	0	0
Prunus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0,6	0	0	2	0,5
Rhododendron ferrugineum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,4	0	0	0	0	0	0
R. ferrugineum-Vaccinium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	16,7	83	19	1	0,2	0	0	0	0
Rosa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,2	3	1	0	0
Rosaceae, Maloideae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	4,6	6	2	16	4,1
Salix	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1,4	4	0,9	107	21	55	18	45	11
Sambucus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	1	0,3	0	0
Sorbus cf. aucuparia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0,8	1	0,3	0	0
Vaccinium uliginosum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,2	0	0	0	0	0	0
Angiosperme indé.	0	0	0	0	0	0	1	1,3	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	0
Gymnospermes indé.	10	1,6	7	1,8	0	0	0	0	0	0	7	1,6	14	3,3	0	0	0	0	0	0
Total	620	/	397	/	198	/	76	/	137	/	432	/	428	/	500	/	300	/	394	/
Indéterminable	5	0,8	3	0,8	2	1	0	0	1	0,7	8	1,8	12	2,7	0	0	0	0	6	1,5
Total charbons analysés	625	/	400	/	200	/	76	/	138	/	440	/	440	/	500	/	300	/	400	/
Indice de concentration (Pareto)	28/72		/		/		/		/		24/76		18/82		20,5/79,5		16/84		22/78	

Tableau 3 (suite)

Table 3 (following)

Spectres anthracologiques

Au total, 6795 charbons ont été analysés et 31 taxons ont été identifiés (tabl. 3). Les indices de concentration sont plutôt satisfaisants y compris pour les spectres miniers. Une concentration relativement forte est à noter pour les dépôts de foyers (Fangeas X US 6 et Fangeas VI US 6). Elle est liée directement à la courte durée enregistrée dans le dépôt. Tous les spectres de fréquences relatives, rangés en fonction de leur chronologie, ont été agencés dans un diagramme anthracologique de synthèse (figure 6). Les indéterminables, qui n'ont pas été comptabilisés dans le calcul des fréquences relatives des taxons, sont rangés dans le haut du diagramme. Ils correspondent à des fragments de lamelles d'écorce ou à des charbons très vitrifiés ou scoriés où parfois il a été possible de reconnaître des critères anatomiques caractéristiques des Angiospermes dicotylédones ou des Gymnospermes. Leurs fréquences sont généralement faibles et toujours inférieures à 5 %. Pour faciliter la lecture du diagramme, les taxons n'ont pas été classés par ordre

alphabétique – comme dans le tableau 3 – mais par type morphologique (arbres de futaie, landes, fourrés) et/ou par groupe à affinités phytosociologiques (taxons montagnards). Les grands résineux montagnards et/ou subalpins (*P. cembra*-type *sylvestris*, *P. type sylvestris*, *P. cf. cembra*, *P. cembra*, *L. decidua-P. abies*) sont rangés dans la partie supérieure du diagramme. Puis, on trouve les taxons des landes et des landines subalpines et supraforestières : *Juniperus*, *Arctostaphylos uva-ursi* L., *Ericaceae* de montagne, *Rhododendron ferrugineum-Vaccinium*, *V. uliginosum* L., *R. ferrugineum* L. Ils sont suivis par les taxons des fourrés humides et des bords de torrent : *Salix*, *Alnus*, *A. cf. viridis*, *A. viridis* (Chaix) DC. Et, en bas du diagramme, les taxons montagnards (potentiellement subalpins pour certains) et anthropiques : *Fraxinus*, *Rosaceae*, *Maloideae*, *Sorbus cf. aucuparia*, *Acer cf. pseudoplatanus*, *Prunus*, *Acer*, *Berberis vulgaris* L., *Crataegus*, *Sambucus*, *Rosa*, *Betula*, *Cornus*, *Lonicera*, *Frangula alnus* Mill., *Corylus avellana* L. et *Juglans regia* L.

À l'Âge du Bronze ancien, la faible diversité des spectres est en partie à attribuer aux dépôts qui sont mal conser-

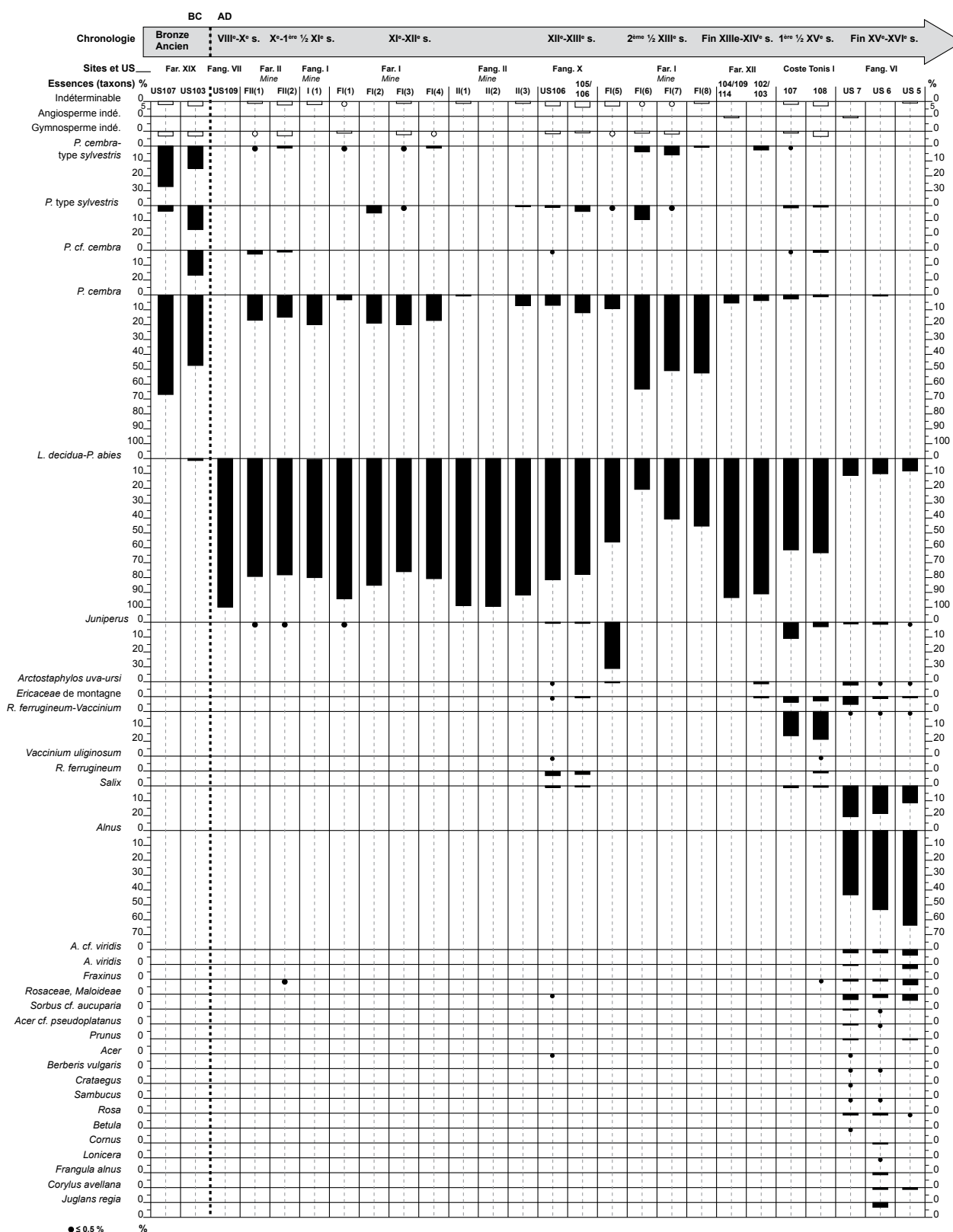


Figure 6 : Diagramme anthracologique de synthèse avec les spectres exprimés en fréquences relatives (%).

Figure 6: Anthracological synthesis diagram with spectra expressed in relative frequencies (%).

vés (charbons peu abondants). Les pins dominent avec le pin cembro en première ligne. Les fréquences relativement importantes du taxon *P. cembra*-type *sylvestris* sont liées à l'abondance du bois de compression rendant souvent impossible l'observation des parois des trachéïdes transversales qui permet de discriminer ces deux taxons. Dans les spectres, le taxon *P.* type *sylvestris* est en arrière plan. Ici, il regroupe *P. sylvestris* et *P. uncinata*, deux espèces indigènes dans notre zone d'étude et qui présentent les mêmes caractéristiques anatomiques. Mais en considérant l'altitude de Faravel XIX, il s'agit très probablement du seul pin à crochets. Aux VIII^e-X^e siècles, *L. decidua*-*P. abies*, anecdotique au Bronze ancien, domine très largement, et les pins, en particulier le pin cembro, tiennent une place secondaire voire négligeable. La reconnaissance de critères anatomiques discriminants du mélèze (Bartholin, 1979; Anagnost *et al.*, 1994; Talon, 1997) – critères néanmoins sujets à critique (Ali, 2003, 54) –, et les caractéristiques écologiques et paléoécologiques sud-alpines des deux espèces (mélèze et épicéa), militent pour la présence très largement dominante du mélèze, mentionné seul par la suite. Dans le diagramme anthracologique, il reste très largement dominant aux XI^e-XII^e siècles et les taxons indicateurs des landes sont discrets. Aux XII^e-XIII^e siècles, le mélèze est toujours dominant mais ses fréquences diminuent aux profits des taxons de landes (genévriers et éricacées de montagne). Durant la deuxième moitié du XIII^e siècle, les spectres enregistrent un changement brutal : le pin cembro et le pin type sylvestre (probablement le pin à crochets) dominent aux dépens du mélèze. Aux XIV^e-XV^e siècles, le mélèze revient au premier plan, mais il est associé à un développement des spectres des taxons de landes, notamment des éricacées de montagne. Aux XV^e-XVI^e siècles, les fréquences du mélèze deviennent très faibles, tandis que celles des taxons de fourrés et de bordures de torrent explosent littéralement (aulne et saule). Ils sont associés aux taxons de landes et à une large diversification des spectres avec l'apparition de toute une série des taxons montagnards et/ou typiques des bordures anthropiques. Il faut noter que ces derniers spectres (Fangeas VI) ont un indice très proche de 20/80, en particulier ceux des US 7 et 5 (tabl. 3).

Fréquences du bois de compression

Le bois de compression a été détecté dans presque tous les dépôts miniers et agropastoraux. Ici, nous avons comptabilisé ensemble les fragments (et les fragments de conifères) avec du bois de compression issus de plusieurs prélèvements rattachés à un même dépôt ou niveau (figure 5) (*in* Py *et al.*, 2013, la présentation des fréquences des charbons avec du bois de compression a été proposée par prélèvement).

Dans les dépôts de Faravel XIX, les fréquences relatives des conifères avec du bois de compression sont comprises entre 25 et 33 %. À Fangeas X, les valeurs sont comprises entre 15 et 36 %, à Coste de Tonis entre 12 et 17 % et à Fangeas VI entre 11 et 23 %. Les charbons de conifères avec du bois de compression issus du site de Faravel XII n'ont pas été dénombrés. De manière générale, si on excepte trois dépôts où elles sont comprises entre 29 et 44 %, les fréquences des conifères avec du bois de compression sont moins élevées dans les dépôts miniers avec des valeurs souvent très inférieures à 17 %. Seuls les charbons issus de restes de constructions incendiées de Fangeas VII ne présentaient pas de bois de compression, par contre à deux reprises, des écrasements des fibres ligneuses ont été reconnus (visibles également à l'œil). Ils ne sont clairement pas liés à des attaques parasitaires mais à une pression exercée par une charge.

Diamètre du menu bois et âge des brindilles

La carbonisation entraînant un retrait volumétrique du bois, variable en fonction de l'essence et de la durée de combustion (les parois cellulaires peuvent perdre jusqu'à 20 % de leur épaisseur initiale), les mesures obtenues sont des minima car elles sont toujours légèrement inférieures à celle du diamètre de la branche ou de la tige avant sa carbonisation. Les dépôts associés au fonctionnement du foyer de Fangeas X n'ont livré que 7 % de ligneux bas ramifiés (éricacées). Le diamètre minimal initial n'a pu être mesuré que pour dix individus ; il est compris entre 0,2 et 0,8 cm. Un nombre de mesures statistiquement plus significatif a été obtenu pour les sites de Coste de Tonis I et Fangeas VI (figure 7, a). Le combustible utilisé à Coste de Tonis I est composé de 30 % de ligneux bas (éricacées, genévriers). Les diamètres minimaux ont pu être évalués pour un tiers d'entre eux et ils sont surtout compris entre 0,2 et 0,6 cm (figure 7, a). À Fangeas VI, 90 % du combustible est composé de ligneux bas ou arbustifs. Le diamètre minimal a pu être mesuré pour presque un tiers des brindilles issues de ces formations. Les valeurs sont comprises entre 0,2 et 2,5 cm et sont très largement concentrées entre 0,2 et 0,8 cm (figure 7, a). Le reste du corpus est constitué de charbons, avec des courbures de cernes franches, probablement issus de branchettes de plus fort calibre dont le diamètre minimal n'a pas pu être évalué. Dans les prélèvements miniers, quelques individus, avec des courbures de cerne franches et la moelle conservée, clairement issus de branches de faible diamètre, ont été décomptés. Ils ne représentent que 0,4 % du corpus. À Fangeas VI, l'écorce et la moelle étant parfaitement conservées pour 10 % des échantillons, il a été possible d'évaluer leur âge, de façon très précise pour les aulnes et les

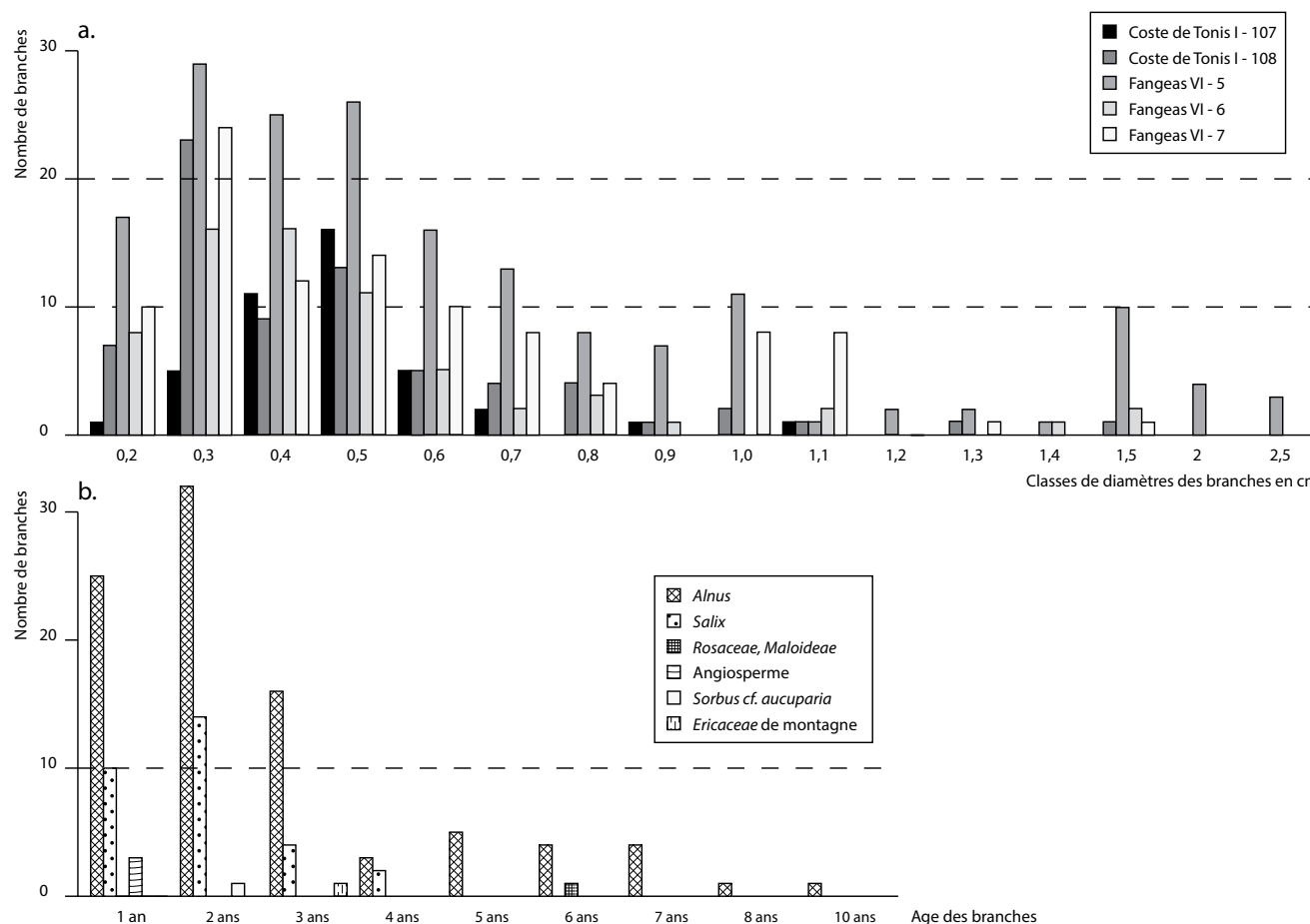


Figure 7 : Diamètres (a) et âges des brindilles (b).

Figure 7: Diameter (a) and age of twigs (b).

saules, et avec une marge d'erreur d'un à deux ans pour les éricacées de montagne dont les limites de cernes ne sont pas toujours bien visibles (figure 7, b). Les individus âgés d'un à trois ans représentent 84 % de ce corpus avec un pic à 1-2 ans (67 %). Les individus âgés de plus de trois ans et surtout de plus de sept ans sont peu nombreux et concernent des essences marginales.

Saison de coupe

Le seul site de Fangeas VI s'est donc prêté à la détermination de la saison de coupe. Les dépôts miniers et ceux des autres cabanes sont dominés surtout par des Gymnospermes, associés à des brindilles d'éricacées de montagne, dont les fragments n'avaient que très rarement conservé des cellules corticales. Sur un total de 1200 fragments analysés, 269

(22,4 %) avaient conservé leur enveloppe corticale et la saison d'abattage a pu être déterminée pour 239 d'entre eux (20 %). Dans la majorité des cas, soit 95 % des fragments avec écorce, la coupe de la tige ou de la branche a été pratiquée à la fin du bois final, donc dans la partie du cerne formée en fin de période de croissance et avant la reprise de l'activité cambiale printanière (tabl. 4). Les 5 % restants regroupent des fragments avec un arrêt indistinct de croissance (ou de coupe) au début, au milieu ou à la fin du bois initial (partie du cerne formée au début de la période de croissance). La fin de la période végétative est amorcée vers 2000 m d'altitude à partir de la fin du mois d'août et elle s'arrête définitivement à la mi-octobre (Ozenda, 1994, 179). La coupe (ou la chute) de 95 % des branches ou des tiges de Fangeas VI, ayant conservé leur écorce, a donc eu lieu au début de l'automne et durant l'arrière-saison.

Taxons	Bois initial	%	Fin bois final	%	
<i>Salix</i>	3	25	45	19,8	
<i>Alnus</i>	6	50	154	67,8	
<i>Alnus viridis</i>	1	8,3	9	4	
<i>Alnus cf. viridis</i>	–	–	12	5,3	
<i>Rosaceae, Maloideae</i>	1	8,3	3	1,3	
<i>Fangula alnus</i>	–	–	2	0,9	
<i>Sorbus cf. aucuparia</i>	–	–	1	0,4	
<i>Juniperus</i>	1	8,3	–	/	
Angiosperme	–	–	1	0,4	
Total	12	–	227	/	239
Total %	5		95		

Tableau 4 : Fréquences absolues et relatives des charbons avec arrêt de croissance dans le bois initial et la fin du bois final pour chaque taxon.

Table 4: Absolute and relative frequencies of charcoals with growth stop in the early wood and at the end of the late wood for each taxa.

Occurrence des parasites

La présence de filaments de mycélium carbonisés a été enregistrée dans la plupart des dépôts miniers et dans ceux des cabanes Coste de Tonis I et Fangeas X (figure 8). Cette

étude n'a pas été réalisée pour Fangeas VI et Faravel XIX. Il faudra pouvoir la compléter dans le futur. Ici aussi, nous avons comptabilisé ensemble les fragments avec des hyphes carbonisés issus de plusieurs prélèvements rattachés à un même dépôt ou niveau. Leurs fréquences sont très variables dans les dépôts miniers. Elles sont surtout comprises entre 2,5 et 30 %. Dans deux dépôts, elles sont comprises entre 60 et 70 %. Dans les restes de foyers de cabanes, elles sont plus homogènes et comprises entre 25 et 43 %. De plus, à Coste de Tonis I, dans une moindre mesure à Fangeas VI (5,5 %) et de manière anecdotique à Fangeas X (0,2 %), des traces d'insectes xylophages ont été décelées par des petits trous ronds qui pourraient correspondre à des trous de ponte (figure 4). Leur très petite taille (moins d'un demi-millimètre de diamètre) interroge sur l'identité de l'espèce parasite. Ces trous ont été retrouvés dans 10 à 12 % des charbons de Coste de Tonis et concernent la plupart des taxons identifiés (pins, mélèze et/ou épicéa, saule) et en particulier les éricacées de montagne et le genévrier (figure 8).

5. DISCUSSION

L'étude anthracologique de résidus de foyers domestiques appréhende la végétation ligneuse passée dans l'aire d'approvisionnement en bois des usagers. Les travaux anthracolo-

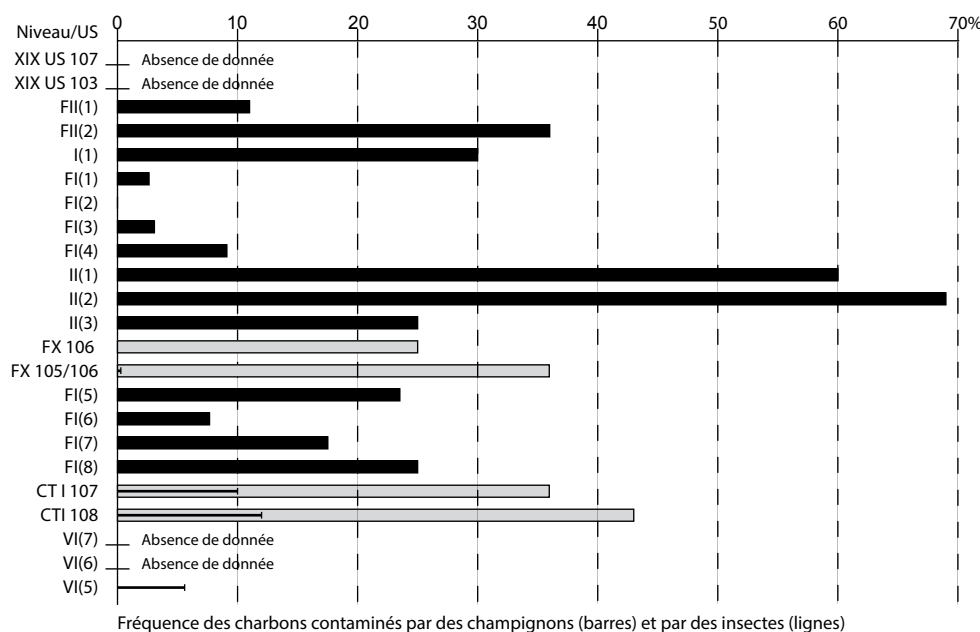


Figure 8 : Fréquences relatives (%) des charbons avec des parasites (hyphes et trous d'insectes). Barres noires : dépôts miniers et barres grises : dépôts dans les cabanes.

Figure 8: Relative frequencies (%) of charcoals with parasites (hyphae and insect holes). Black bars: mining deposits and grey bars: hut deposits.

giques publiés ont révélé que cet approvisionnement est le plus souvent local, c'est-à-dire réalisé dans les boisements disponibles situés au plus près du site d'habitat. Suivant les contextes et les époques, et lorsque le protocole d'échantillonnage et de prélèvement est bien maîtrisé, ils montrent soit (1) une stratégie d'approvisionnement sélective, soit (2) une stratégie d'approvisionnement non sélective. Au moyen d'analyses statistiques et pour des sites néolithiques du pourtour de l'arc alpin, la première stratégie a été corrélée à des milieux peu perturbés, et la seconde – qui correspond au principe du moindre effort tel qu'il a été établi par Shackleton et Prins 1992 – à l'exploitation d'un milieu occupé et transformé (Dufraisse, 2014). Plus généralement, les recherches anthracologiques montrent que les stratégies d'approvisionnement en combustible domestique ou artisanal, sélectives ou pas, apparaissent d'abord très clairement corrélées à l'état du milieu forestier et donc au degré de pression humaine – y compris pour les activités artisanales historiques pour lesquelles les stratégies sont le plus souvent sélectives – et d'autre part, à des facteurs socio-économiques voire culturels difficiles à déterminer, en particulier pour les périodes non documentées par les textes.

Changements de la végétation locale et évolution du territoire d'approvisionnement en combustible entre l'Âge du Bronze ancien et la Renaissance

Les données anthracologiques du site de Faravel XIX suggèrent que les boisements fréquentés par ses occupants au Bronze ancien étaient dominés par des formations arborescentes de type futaie résineuse où le pin cembro, associé au pin à crochets, tenait une place prépondérante (figure 6). Le mélèze n'est pas enregistré dans le premier spectre, mais il fait une apparition discrète dans le spectre correspondant à l'occupation la plus récente (US 103). La prééminence des pins de haute montagne et en particulier du pin cembro caractérise une forêt d'altitude peu altérée où aucun indice de stades de reconquête ou de transition, qui se singularisent par des formations héliophiles, n'est perceptible. Ces résultats sont en partie en accord avec les données palynologiques qui révèlent un paysage forestier dominé par la cembraie et les pins (Py *et al.*, 2014). Or, la courbe continue du pollen de bouleau suppose aussi l'existence de clairières et/ou sa cohabitation avec le pin cembro en zone supraforestière (Fauquette, 1995 ; Édouard et Thomas, 2008). Le mélèze apparaît aux abords du bas marais de Fangeas, vers 2000 m d'altitude, dans le courant du Bronze ancien et le départ de sa courbe coïncide avec une première ouverture significative de la cembraie, le déclin du bouleau et une sensible

hausse des Poaceae. Dans les spectres anthracologiques de Faravel XIX, l'absence du bouleau – dont le rôle pionnier lors de la progression holocène de la timberline a été démontré (Fauquette, 1995) – pourrait s'expliquer par une pratique d'approvisionnement en combustible sélective, déterminée par un milieu forestier peu dégradé. L'emplacement de la cabane et de son enclos témoigne d'une activité pastorale pratiquée au-delà de la haute forêt de résineux qui pouvait alors s'étendre en contrebas du site. De la sorte, au Bronze ancien, nous situons la limite supérieure de la forêt « dense » aux alentours de 2 250-2 300 m d'altitude (figure 10a). Si on s'appuie sur les données pédoanthracologiques sud-alpines, la limite supérieure des arbres était quant à elle probablement bien plus élevée ; elle pouvait atteindre au milieu de l'Holocène 2 400 à 2 600 m d'altitude voire plus (Ali *et al.*, 2003 ; Talon *et al.*, 1998 ; Talon, 2010). L'émergence puis la hausse de la courbe du mélèze dans le diagramme palynologique de Fangeas indique que ce manteau n'était pas totalement continu. Il aurait été ajouré, par endroits, un peu plus bas en altitude, dans le courant du Bronze ancien. Les analyses anthracologiques du site de Faravel VIIIId (figure 10a) et de deux sites du vallon de Chichin dans la branche nord-ouest de la haute vallée de Freissinières, ont montré la place émergente du mélèze à cette période entre 2 070 et 2 230 m d'altitude (Tzortzis *et al.*, 2008 ; Mocci *et al.*, 2009). Ces résultats anthracologiques peuvent être comparés avec ceux acquis dans le Champsaur voisin (Py et Durand, 2010). Les charbons étudiés proviennent d'un enclos et d'une cabane situés à 2 200 m d'altitude. Les niveaux échantillonnés correspondent à deux épisodes d'incendie datés du Bronze ancien/moyen et du Bronze moyen/final (Palet *et al.*, 2003). Le plus ancien présente un spectre anthracologique relativement diversifié (9 taxons) et très nettement dominé par le pin cembro accompagné de l'érable (pionnier à cette altitude et à cette période, voir David et Barbero, 2001) et de taxons héliophiles, témoins de boisements clairs et ouverts (rosacées, rosoidées, genévrier, frêne). Le mélèze est alors très discret. Le dépôt le plus récent se caractérise aussi par la dominance du pin cembro, mais dans ce cas, il est mélangé au mélèze dont l'extension significative s'est faite aux dépens des autres taxons. Ici, comme dans le massif des Écrins, le développement du mélèze est à mettre en relation avec la mise en place de nouvelles pratiques pastorales et la création d'espaces de pacage « artificiels » associés au mélèze (pré boisé) au-dessus de 2000 m d'altitude. Le même phénomène a été caractérisé par la palynologie dans la région de la haute vallée du Drac Noir (Court-Picon, 2003).

Dans notre aire d'étude, les périodes qui se succèdent jusqu'à l'époque carolingienne ne sont pas documentées par l'anthracologie. Les changements de la végétation opé-

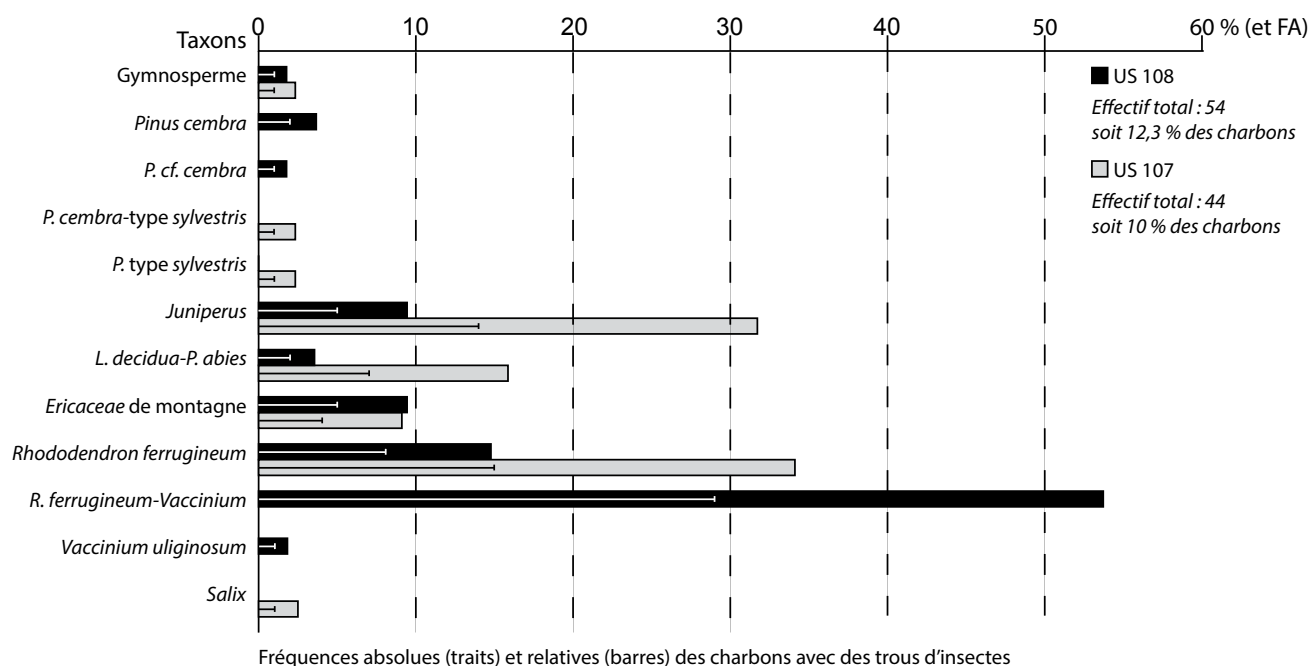


Figure 9 : Fréquences relatives (%) et absolues des charbons (par taxon) avec des trous d'insectes dans les US 107 et 108 de Coste de Tonis I.
 Figure 9: Relative (%) and absolute frequencies of charcoals (by taxa) with insect holes in the SU 107 and 108 of Coste de Tonis I.

rés pendant les trois millénaires suivants sont perçus par le diagramme palynologique de Fangeas (Py et al., 2014). Un premier recul majeur des pinèdes d'altitude intervient à la fin de l'Âge du Fer, en lien avec la progression des indicateurs du pastoralisme. Parallèlement, le mélèze, plus compétitif que le pin cembro et compatible avec le pastoralisme, progresse au point d'atteindre son apogée. Entre la fin de l'Âge du Fer et les II^e-III^e siècle AD, le paysage se referme ponctuellement et les indicateurs du pastoralisme sont en baisse. Un nouveau retrait du pollen arboréen survient à la fin de l'époque romaine, probablement en réponse à une accentuation des ponctions forestières et des défrichements. Durant l'Antiquité tardive et les premiers siècles du haut Moyen Âge, le mélèzin se maintient et la forêt de pins se régénère en altitude, mais la fréquentation de la montagne par des troupeaux est toujours perceptible. Cette hypothèse est d'ailleurs confirmée par la petite cabane Fangeas VII, vestige d'un abri de berger. À la fin de l'époque carolingienne, une nouvelle phase majeure d'ouverture du milieu est amorcée. Au x^e siècle, aux alentours de 2000-2070 m d'altitude, les spectres anthracologiques des premiers ouvrages miniers reflètent un milieu de pré bois dominé par le mélèze, mélangé au pin cembro dont les fréquences sont réduites par rapport à la phase précédente (figure 6). Le genévrier et le frêne, représentés de façon très marginale, attestent néanmoins l'ouverture de ces boisements corroborée par la palynologie. Ici, contrairement à l'Âge du

Bronze ancien, le caractère sélectif de l'approvisionnement en combustible artisanal n'est clairement pas l'écho d'un milieu forestier peu altéré. Il répond à la nécessité de prélever la plus grande quantité de masse de bois parmi les essences arborescentes dominantes dans l'environnement, pour faire face aux besoins d'une technique minière exigeante en combustible (Ancel et Py, 2008 ; Py et al., 2015). D'ailleurs, cette contrainte technique n'est pas un frein à la bonne perception de la composition des boisements par l'anthracologie minière. Au contraire, elle révèle la nette dominance du mélèze par rapport au pin cembro aux alentours de 2000 m d'altitude alors que ses fréquences sont sous-évaluées dans le diagramme palynologique en raison de ses médiocres capacités de dispersion pollinique (Kharbouch, 2000). Dans le courant du XII^e siècle, le pin cembro est en net retrait. Les spectres anthracologiques deviennent quasi mono-spécifiques (mélèze), ce qui sous-entend la très faible disponibilité du pin dans le territoire d'approvisionnement qui s'étire au-delà de 2100 m d'altitude (figure 6 et figure 10b). Entre la deuxième moitié du XII^e et la première moitié du XIII^e siècle, les spectres anthracologiques de la cabane de Fangeas X traduisent l'état altéré et morcelé des formations arborées, toujours dominées par le mélèze, avec l'apparition des taxons des landes et landines subalpines et supraforestières (genévrier, raisin d'ours, éricacées de montagne, rhododendron, myrtille). Entre la deuxième moitié du XII^e et le XIII^e siècle, cette

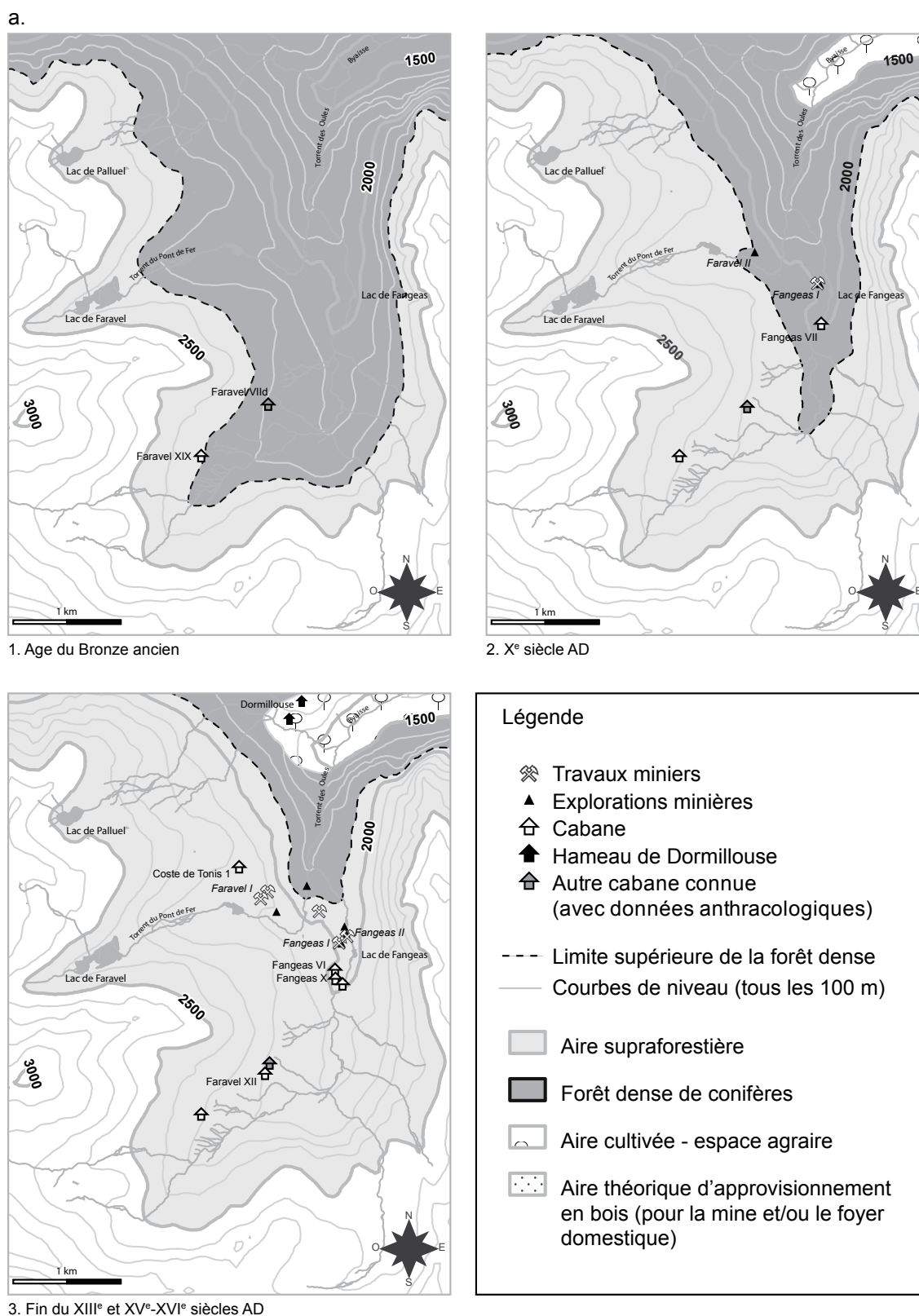
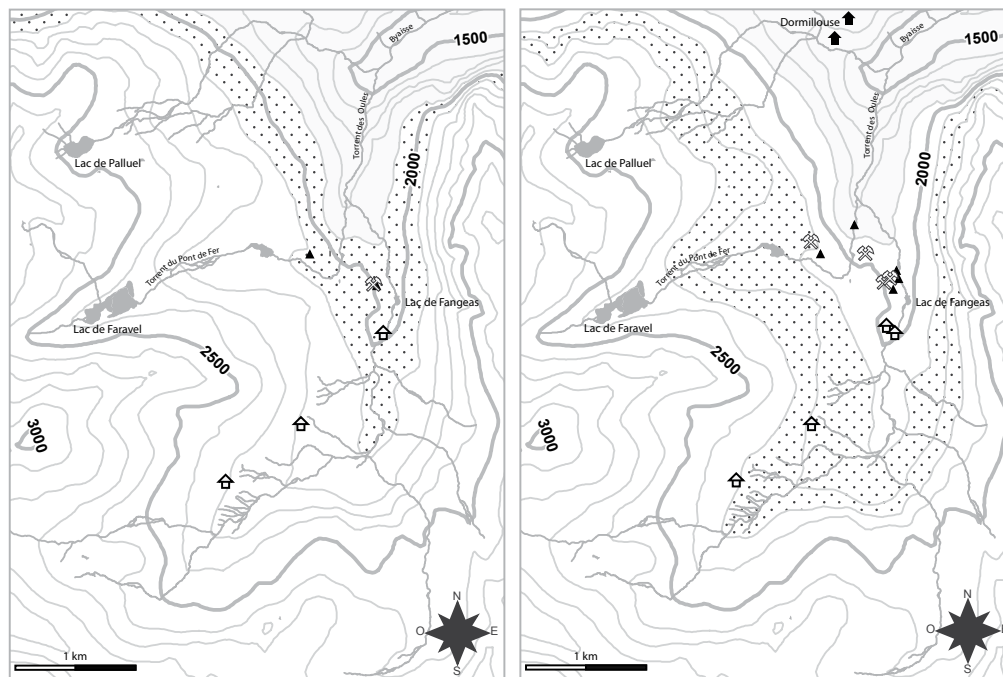


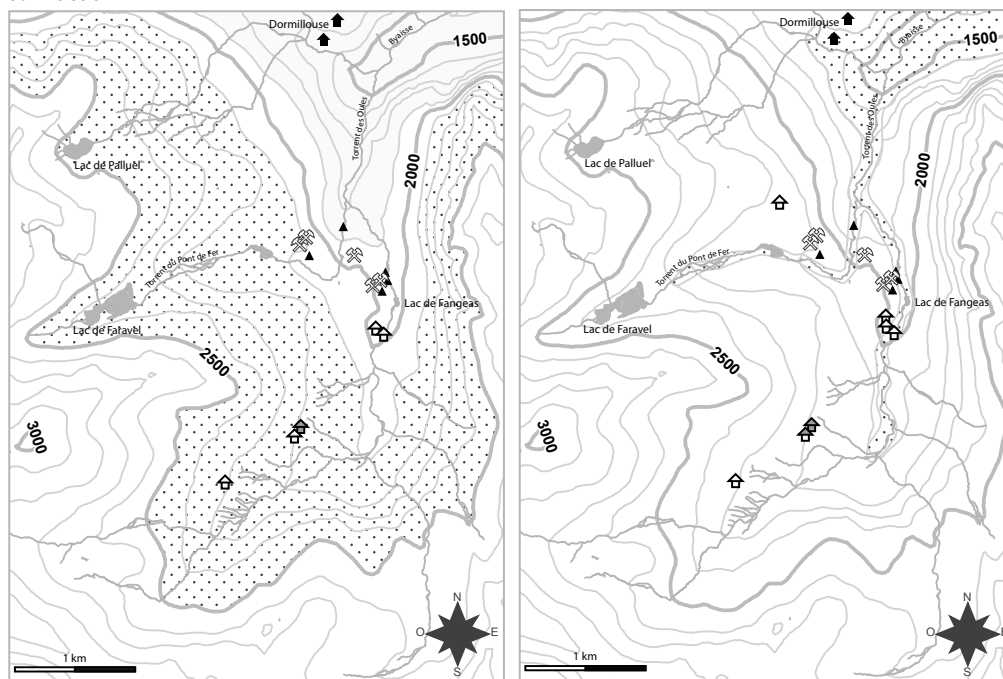
Figure 10 : (a) Essai de modélisation spatiale de la dynamique de la végétation entre l'Âge du Bronze et la fin du Moyen Âge.
 Figure 10: (a) Test of spatial modelling of the vegetation dynamic from the Bronze age to the end of the Medieval era.

b.



1. Aire théorique d'approvisionnement en bois pour la mine au X^e siècle AD

2. Aire théorique d'approvisionnement aux XI^e-XII^e siècle AD



3. Aire théorique d'approvisionnement en bois pour la mine au XIII^e siècle AD

4. Aire théorique d'approvisionnement en bois au tournant de l'ère moderne (XV^e-XVI^e siècles)

Figure 10 : (b) Essai de modélisation spatiale des aires d'approvisionnement en combustible pastoral et minier au Moyen Âge jusqu'au tournant de l'ère moderne. Ces représentations cartographiques reposent sur l'analyse et l'interprétation des données anthracologiques, mises en rapport avec les données paléoécologiques et paléo- biogéographiques.

Figure 10: (b) Test of spatial modelling of the pastoral and mining timbershed from the Medieval era to the turn of the Modern era. These cartographic representations are based on the analysis and the interpretation of anthracological data combined with the paleoecological and paleo- and biogeographical data.

altération des boisements et l'extension de la zone supraforestière se traduit par l'utilisation inhabituelle du genévrier pour l'extraction minière, saisie par le spectre atypique de tranchée FI-5 (figure 6). Durant la deuxième moitié du XIII^e siècle, les spectres miniers se différencient nettement des précédents avec le pin cembro qui devient dominant. Cette inversion des taxons a été interprétée comme la conséquence du déboisement du mélèze subalpin et de l'abaissement de la limite supérieure de la forêt dense entraînant une extension du territoire d'approvisionnement minier vers des îlots arborescents supraforestiers, encore dominés par le pin cembro mélangé au mélèze et au pin à crochets (Py *et al.*, 2013 et figure 6, figure 10a et 10b). Cela suppose un débardage des billes sur plusieurs centaines de mètres de dénivelé et plusieurs kilomètres. En parallèle, les données polliniques, avec l'explosion des Poaceae qui marque le développement maximal des prairies à moyenne et haute altitude, indiquent que cette pression n'est pas seulement minière mais aussi et surtout agropastorale (Py *et al.*, 2014). Les spectres anthracologiques de Faravel XII montrent que le mélèze, apprécié pour son excellente durabilité, est privilégié pour le bâti pastoral. Durant la première moitié du XV^e siècle, les spectres de Coste de Tonis I expriment la place grandissante des landes à éricacées et à genévriers au détriment des pins et du mélèze qui se maintiennent peut-être sous forme de bouquets, aux alentours de 2 200 m d'altitude (figure 6). L'élargissement significatif du spectre floristique peut être interprété comme le corollaire d'une intense pression anthropique qui est attestée par les données polliniques avec l'accentuation très nette des indicateurs du pastoralisme. Les spectres de Fangeas VI reflètent des boisements radicalement différents. La strate arborescente, toujours dominée par le mélèze dont les fréquences sont au plus bas, apparaît très fortement réduite et localisée. Les landes subalpines (notamment d'ubac) et les formations de sous-bois du mélèze apparaissent très en arrière-plan. Les boisements exploités pour l'approvisionnement en combustible domestique sont dominés par l'aulne et le saule. Le cortège des taxons plus typiquement montagnards, indicateurs de milieux fortement anthropisés et des friches, supposent un élargissement de l'aire d'approvisionnement à l'espace montagnard, c'est-à-dire non loin de l'habitat permanent et des cultures (espace agricole), et sa convergence vers les bords des torrents alpestres, les fourrés humides et les brousses supraforestières (figure 10b). Au tournant de l'ère moderne, les spectres anthracologiques expriment en négatif la disparition de la forêt subalpine dense aux abords du vallon de Fangeas et l'abaissement de sa limite supérieure sous la barre des 1 900 m d'altitude (voire plus bas) (figure 10a). Les données polliniques corroborent cette hypothèse avec notamment l'arrêt de la courbe du mélèze au début de l'époque moderne.

De l'économie des ressources ligneuses combustibles aux anthroposystèmes alpestres

À l'Âge du Bronze, le combustible utilisé par les occupants de Faravel XIX est constitué exclusivement de grands résineux. Le diamètre initial des bois carbonisés n'a pas pu être précisément évalué (une seule branchette de 0,6 cm de diamètre a été retrouvée). Les prélèvements sont composés majoritairement de charbons dont les cernes rectilignes indiquent qu'ils proviennent de tiges ou de branches avec un diamètre supérieur à 16 cm (Marguerie et Hunot, 2007 ; Paradis-Grenouillet S., données non publiées). Les charbons avec du bois de compression représentent environ presque un tiers du corpus (figure 5). Ces fréquences relativement élevées pourraient suggérer une sélection préférentielle mais pas exclusive des branches charpentières, y compris les branches basses non rectilignes, et de troncs excentrés. Le calibre du bois de feu était donc relativement important ce qui implique l'utilisation d'une hache pour son acquisition et son tronçonnage.

Le combustible minier et domestique des X^e-XIII^e siècles AD, presque exclusivement constitué de grands résineux subalpins, présente des caractéristiques morphologiques un peu différentes. Dans la plupart des cas, les charbons présentent des cernes rectilignes et ceux avec du bois de compression ont des fréquences globalement inférieures à Faravel XIX. Elles sont comprises surtout entre 3 et 17 %. Seulement cinq dépôts sur dix-huit présentent des fréquences de bois de compression supérieures à 25 %. Globalement, ces résultats n'indiquent pas une gestion spécifique du bois de compression et suggèrent plutôt que toutes les parties de l'arbre ont été utilisées, y compris les tiges. Le bois de feu était donc surtout constitué de bois d'assez fort diamètre (supérieur à 16 cm) à fort diamètre. Les quelques brindilles issues de ligneux bas ramifiés seraient les résidus du menu bois destiné à l'allumage des foyers domestiques, entretenus avec des bois de plus forts calibres. Or, qu'en est-il du bois utilisé pour l'allumage des bûchers miniers ? En plus des quelques branches détectées dans les charbons de bois, l'analyse xylologique des bois gorgés d'eau issus des fosses ennoyées a révélé (1) un corpus de branches (une centaine), avec des diamètres surtout compris entre 1 et 4 cm, dont une partie pouvait être destinée à cette opération, et (2) d'abondants déchets de taille (plusieurs centaines de pièces fendues, refendues et éclissées) dont les caractéristiques technomorphologiques suggèrent que l'allumage des bûchers était principalement assuré par la refente de bois de grosses sections (Py, 2009, II, 871-880).

À la fin du Moyen Âge, le calibre du bois de feu domestique réduit à l'instar des espaces boisés arborescents dans l'étage subalpin (figure 7). À Coste de Tonis, 30 % du combustible

est constitué de ligneux bas faiblement lignifiés que se prêtent pourtant mal à l'entretien du foyer. Leur utilisation suppose la tonte de la lande, qui constitue un stade de végétation entre les pelouses et les forêts, dont la progression empiète sur le territoire pastoral et les terroirs fourragés. Ces formations, peu ou pas appétantes pour le bétail et sans utilité agricole, étaient donc débroussaillées pour contrôler leur expansion et les ramilles étaient recyclées dans les foyers domestiques. Par rapport aux cabanes des séquences précédentes, la réduction significative des fréquences des conifères avec du bois de compression pourrait traduire une diminution de l'abattage des arbres et des fortes branches au profit de branches de plus faibles diamètres produisant moins de volume de bois de compression. Au tournant de l'ère moderne, le combustible du foyer de l'estive est presque exclusivement composé de jeunes branches et de ramilles issues d'arbustes et d'arbrisseaux. La faiblesse de leur diamètre et la forte concentration des individus âgés d'un à trois ans révèlent la régularité de la pratique du boisillage (annuelle à tous les 2-3 ans) menée dans les fourrés d'aunes et de saules (figure 7). Cette récolte, qui visait les jeunes branches et suppose l'émondage ou la taille en têtard des arbustes, se déroulait surtout au début de l'automne et à l'arrière-saison (mi-août, septembre, octobre) et de manière plus sporadique et marginale au commencement de la belle saison (tabl. 4). Il y a une centaine d'années, le courant du mois d'août coïncidait avec la fenaison de haute montagne. En septembre, les habitants de Freissinières s'adonnaient à la récolte du bois de chauffage et des feuilles fourragères (Parisot, 1931 ; Cézard, 1981, 146). L'affouragement du troupeau avec des feuilles et des branches feuillées était pratiqué dans tout l'arc alpin jusqu'au siècle dernier. Les feuilles étaient soit séchées sur leurs branches (pour préserver leur valeur nutritive), rassemblées en gerbes, et consommées pendant l'hiver, soit consommées fraîches dans les pâturages. Le fourrage de feuilles est attesté au XIII^e siècle par quelques rares mentions dans les textes du haut Dauphiné (Falque-Vert, 1997, 68). Il est avéré par l'archéobotanique dès le Néolithique à la Grande Rivoire (Isère) (Delhon *et al.*, 2008) et au X^e siècle dans le Champsaur (Durand, 2004, I, 192-197). L'éventail des essences qui se prêtent à cette pratique est très vaste (Thiébaud, 2005) et leurs propriétés nutritives variables (Hejčmanová *et al.*, 2014). Dans les spectres anthracologiques de la haute Durance (figure 6), les taxons propres au fourrage (saule, frêne, érable et aulne) sont sporadiques avant les XV^e-XVI^e siècles. À Fangeas VI, ils constituent plus de la moitié du combustible. L'aulne, le taxon le mieux représenté, n'est pas communément admis dans la liste des essences fourragères connues dans l'espace sud-alpin. Pourtant, il était particulièrement apprécié dans les régions septentrionales d'Europe (Slotte, 2006). Les charbons de Fangeas VI seraient

donc les traces indirectes de cette pratique agrosylvopastorale et de sa temporalité. Les restes ligneux non consommés par le bétail étaient recyclés dans le foyer de l'estive. Les cycles du boisillage et de la feuille étaient donc étroitement liés à partir des XV^e-XVI^e siècles.

Les charbons miniers et agropastoraux ont conservé les traces de parasites saprophages (champignons lignivores) en quantité faible à modérée dans les tissus ligneux. Les proportions de charbons infestés sont variables d'un échantillon à l'autre, mais atteignent rarement le tiers du corpus (figure 8). En contexte minier, cette infestation a été interprétée comme la conséquence d'une nécessaire phase de stockage du bois pour son séchage pouvant être évaluée à au moins deux ans vers 2000 m d'altitude (Py *et al.*, 2013). Elle conditionne l'efficacité de la technique et implique une anticipation des besoins en combustible pour assurer les rendements de l'extraction minière. Dans les dépôts associés aux premiers travaux miniers de la Grande Fosse de Fangeas, les fréquences anormalement élevées (60 à 69 %) de charbons infestés sont problématiques. Ces deux mêmes dépôts ont des fréquences de charbons avec du bois de compression également très élevées. Ces données pourraient signer un approvisionnement particulier, ponctuel, peut-être composé de bois mort issus de chablis, c'est-à-dire d'arbres ayant chuté ou ayant été déracinés accidentellement lors d'intempéries (vent, tempête, foudre, ravinement) ou d'avalanches qui sont fréquentes en haute montagne. Mais cette hypothèse est fragile. L'identification des charbons de bois issus de souches aurait permis de la consolider.

En contexte pastoral, l'infestation modérée du bois par des parasites (champignons et insectes pour le cas de Coste de Tonis) suppose aussi le stockage des branches coupées saines pendant au moins un à deux ans. À Coste de Tonis, les taxons de lande sont les plus parasités par des insectes (figure 9) ce qui sous-tendrait leur usage initial comme litière végétale pour le bétail. Quelques cas de prolifération abondante des hyphes ont été relevés à Fangeas X (23 fragments de mélèze et 2 de pin cembro) et Coste de Tonis (15 fragments de mélèze et 1 de pin cembro) suggérant un ramassage sporadique de bois de résineux morts. La présence des parasites saprophages dans le combustible de Fangeas VI permet de formuler au moins deux hypothèses : (1) les branches feuillées étaient consommées fraîches à la fin de l'estive puis les restes ligneux étaient stockés dans les cabanes pour leur recyclage dans le foyer les saisons suivantes ; (2) les branches feuillées étaient séchées dans les habitats permanents, distribuées pendant l'hiver au bétail en stabulation ; les restes ligneux non consommés étaient stockés puis montés à l'estive la saison suivante pour alimenter le foyer.

6. CONCLUSION

Cette étude démontre l'intérêt de croiser des données anthracologiques issus de contextes domestiques et artisanaux pour caractériser l'évolution de la végétation passée. Elle souligne leur apport original pour étudier les relations entre l'homme, les ressources végétales (combustibles et agropastorales) et les changements de la végétation. Ici nous avons parfaitement cerné le passage de la cembraie au mélézin, le morcellement et l'extinction des espaces boisés subalpins, associés au développement des landes, et l'abaissement de la limite supérieure de la forêt dense sur plusieurs centaines de mètres. En parallèle, le maintien du pin cembro en altitude jusqu'au tournant de l'ère moderne est démontré. À la fin du Moyen Âge, la réduction drastique des boisements subalpins a conduit les agropasteurs à se rabattre sur un combustible médiocre issu de la gestion pastorale de la lande. Au tournant de l'ère moderne, le mélézin, localisé dans certains massifs d'ubac, et dont l'accès devient réglementé par les autorités, n'est plus fréquenté par les agropasteurs qui recyclent le produit de l'effeuillage fourrager dans le foyer de l'estive.

Remerciements

Cette recherche a été financée par une allocation de recherche de l'université Aix-Marseille (LA3M UMR 7298) et a bénéficié du soutien de plusieurs projets de recherche : le PEVS « La forêt et le troupeau dans les Alpes du Sud du Tardiglaciaire à l'époque actuelle, à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales », coordonné par J.-L. de Beaulieu (IMBE UMR 7263) ; le projet Éclipse II « Étude comparée des événements climatiques et des activités anthropiques dans les Alpes méridionales : approche haute résolution au cours des deux derniers millénaires », coordonné par A. Véron (CEREGE UM34) ; le projet ACI « Savoir brûler », coordonné par A. Durand (CReAAH UMR 6566). Les fouilles archéologiques ont été soutenues et financées par le Ministère de la culture, le SRA PACA et le Service Culturel Municipal de l'Argentière-La Bessée. Nous remercions pour leur collaboration efficace les laboratoires LA3M, CCJ et IMBE à Aix-en-Provence et le Service Culturel Municipal de l'Argentière-La Bessée. Nous remercions également tous les bénévoles qui ont participé aux travaux de terrain.

Bibliographie

- ALI A.A., 2003. Les systèmes travertineux holocènes et la caractérisation des paléopaysages méditerranéens et subalpins (France) : une approche géobotanique séquentielle à haute résolution spatiale. Thèse de l'Université de Montpellier II, France.
- ALI A.A., CARCAILLET C., GUENDON J.-L., QUINIF Y., ROIRON P., TERRAL J.-F., 2003. The Early Holocene treeline in the southern French Alps: new evidence from travertine formations. *Global Ecology and Biogeography*, 12: 411-419.
- ALTANER C.M., TOKAREVA E.N., WONG J.C.T., HAPCA A.I., MCLEAN J.P., JARVIS M.C., 2009. Measuring compression wood severity in spruce. *Wood Science and Technology*, 43: 279-290.
- ANAGNOST S.E., MEYER R.W., ZEEUW C. de, 1994. Confirmation and significance of Bartholin's method for the identification of the wood of *Picea* and *Larix*. *IAWA Journal*, 15: 171-181.
- ANCEL B., 2010. Les anciennes mines métalliques des Alpes du Sud: bilan diachronique. In Tzortzis S., Delestre X. (ed.). Archéologie de l'espace montagnard: confrontation d'expériences européennes, Archéologie de la montagne européenne, Actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre-1^{er} octobre 2008. Errance, Paris, 293-300.
- ANCEL B., PY V., 2008. L'abattage par le feu : une technique minière ancestrale. *Archeopages*, n° 22, « Mines et carrières », juillet: 34-41.
- BADAL E., 2004. Análisis antracológico de los restos del fuego doméstico del abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). In P. Utrilla, J.M. Rodanés (Eds.), Un asentamiento epipaleolítico en el valle del Río Martín. El Abrigo de los Baños (Ariño, Teruel). *Monografías Arqueológicas* 39. Universidad de Zaragoza, 63-74.
- BAILLY-MAÎTRE M.-Ch., 2002. *L'argent, du minéral au pouvoir*. Picard, Paris, 224 p.
- BARTHOLIN T., 1979. The *Picea-Larix* problem. *IAWA Bull.*, 1: 8-10.
- BEAULIEU J.-L. DE, LEVEAU P., MIRAMONT C., PALET J.M., WALSH K., COURT-PICON M., RICOU F., SEGARD M., SIVAN O., ANDRIEU-PONEL V., BADURA M., BERTUCCHI G., BOUTTERIN C., DURAND A., ÉDOUARD J.-L., LAVOIE M., MORIN A., MOCCI FL., PONEL P., POTHIN A., PY V., TALON B., TZORTZIS S., BONET R., COLUMEAU P., CORTOT H., GARCIA D., 2003. Changements environnementaux postglaciaires et action de l'homme dans le bassin du Buëch et en Champsaur (Hautes-Alpes, France). Premier bilan d'une étude pluridisciplinaire. In T. Muxart, F.-D. Vivien, B. Villalba, J. Burnouf (eds.), *Des Milieux et des Hommes : Fragments d'Histoires Croisées*, Collection Environnement. Elsevier, Paris, 93-101.
- BOURGARIT D., ROSTAN P., BURGER E., CAROZZA L., MILLE B., ARTIOLI G., 2008. The beginning of copper mass production in the southern part of western Alps: the Saint-Véran mining

- area considered (Hautes-Alpes, France). *Historical Metallurgy*, 42 (1): 21-31.
- BOURGARIT D., ROSTAN P., CAROZZA L., MILLE B., ARTIOLI G., 2010. Vingt ans de recherches à Saint-Véran, Hautes-Alpes : état des connaissances de l'activité de production de cuivre à l'âge du Bronze ancien. *Trabajos de prehistoria*, 67, n° 2, julio-diciembre 2010: 269-285.
- BURRI S., DURAND A., PY V., VASCHALDE Ch, 2013. Les outils pour acquérir et transformer la matière ligneuse dans les chaînes opératoires techniques des artisanats forestiers en Provence et Haut-Dauphiné au Moyen Âge. In P.C. Anderson, C. Cheval, A. Durand (ed.). *An Interdisciplinary Focus on Plant-Working Tools*, Proceedings of the XXXIIIth Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Éditions APDCA, Antibes, 397-414.
- CARRIER N., MOUTHON F., 2010. Paysans des Alpes. *Les communautés montagnardes au Moyen Âge*. Rennes, PUR, 417 p.
- CAROZZA L., CHAPRON E., SIMMONEAU A., MILLE B., GUYARD H., SAINT-ONGE G., ROSTAN P., BOURGARIT D. AND BURENS A., 2010. Glacial fluctuations and exploitation of copper resources in high mountain during the late Neolithic and Bronze Age in the French Alps (2500-1500 BC). In *Proceeding for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HiMAT*. 12-15 november, Innsbruck, Austria, 81-90.
- CÉZARD M.-M., 1981. *La Vallouise à travers l'histoire*. Société d'Études des Hautes-Alpes, Gap. 230 p.
- CHABAL L., 1997. *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive)*. *L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. DAF 63, Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris. 189 p.
- CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F., THÉRY-PARISOT I., 1999. L'anthracologie. In A. Ferrière, (ed.), *La Botanique*, collection « Archéologique », Paris, Errance, 1999, 43-104.
- COURT-PICON M., 2003. Approches palynologique et dendrochronologique de la mise en place du paysage dans le Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales. Thématique, méthodologie et premiers résultats. *Archéologie du Midi Médiéval*, 21: 211-224.
- COURT-PICON M., WALSH K., MOCCI FL., SEGARD M., PALET-MARTINEZ J., 2007. Occupation de la montagne et transformation des milieux dans les Alpes méridionales au cours de l'âge du Bronze : approche croisée des données palynologiques et archéologiques en Champsaur et Argentiérais (Hautes-Alpes, France). In C. Mordant et al. (eds.). *Environnements et cultures à l'âge du Bronze en Europe occidentale*, CTHS, Paris, 89-106.
- DAVID F., BARBERO M., 2001. Les érables dans l'étage subalpin : une longue histoire. *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences de Paris*, Sciences de la Vie, 324: 159-164.
- DELHON C., MARTIN L., ARGANT J., THIÉBAULT S., 2008. Shepherds and plants in the Alps: multi-proxy archaeobotanical analysis of neolithic dung from "La Grande Rivoire" (Isère, France). *Journal of Archaeological Science*, 35(11): 2937-2952.
- DUFRAISSE A., 2014. Relation entre modes de collecte du bois de feu et état du milieu forestier : essai d'application du principe du moindre effort. In R.-M. Arbogast, A. Greffier-Richard (ed.), *Entre archéologie et écologie, une Préhistoire de tous les milieux*. Mélanges offerts à Pierre Pétrequin. Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon, 493-504.
- DURAND A., 2004. Du paysage à la pratique des gestes à l'environnement : essai d'approches croisées sur les systèmes agraires en France méridionale et en Catalogne (IX^e-XV^e siècles). HDR, Université Aix-Marseille, France, 2 vol. 533 p.
- EDOUARD J.-L., THOMAS A., 2008. Cernes d'arbres et chronologie holocène dans les Alpes françaises. In M. Desmet, M. Magny, Fl. Mocchi (ed). *Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes : du climat à l'Homme*, proceedings of the Workshop JurAlp, Aix-en-Provence, collection Edytem, Cahiers de Géographie, vol. 6, 179-190.
- FALQUE-VERT H., 1997, *Les hommes et la montagne en Dauphiné au XIII^e siècle*. La pierre et l'écrit, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 517 p.
- FAUQUETTE S., 1995. Étude paléoécologique (pollen et macrorestes) d'un site du Briançonnais : le lac de Cristol (Hautes-Alpes, France). *Palynosciences*, 3: 51-68.
- GREGUSS P., 1955. *Identification of living Gymnosperms on the Basis of Xylotomy*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 263 p., 350 pi. h. t. et 8 suppl.
- GREGUSS P., 1959. *Holzanatomie der Europäischen Laubbölzer und Sträucher*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 330 p.
- HAPCA A., 2004. Distribution du bois de compression dans l'arbre en relation avec sa forme externe. Application à l'épicéa commun (*Picea abies* Karst.). Thèse. Sciences forestières et du bois, ENGREF, Nancy-Champenoux, 200 p.
- HEJCMANOVÁ P., STEJSKALOVÁ M., HEJCMAN M., 2014. Forage quality of leaf-fodder from the main broad-leaved woody species and its possible consequences for the Holocene development of forest vegetation in Central Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23, 5: 607-613.
- HENRY A., THÉRY-PARISOT I., 2014. From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotten wood as fuel. *Journal of archaeological science*, 52: 321-336.
- KHARBOUCH M., 2000. Variations altitudinales de quelques taxons végétaux dans les Alpes du Sud durant le Tardiglaciaire et l'Holocène. *Quaternaire*, 11(3-4): 231-242.
- MARGUERIE D., HUNOT J.-Y., 2007. Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in western France. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1417-1433.
- MEYER D., 1981. *La végétation des vallées de Vallouise, du Fournel et de la Byasse (Pelvoux oriental e Hautes-Alpes)*. *Analyse phy-*

- tosociologique et phytogéographique des étages collinéen, montagnard et subalpin* (Ph.D. thesis). Université de Provence, Aix-Marseille I, France. 176 p.
- MOCCI FL., PALET-MARTINEZ J., SEGARD M., TZORTZIS S., WALSH K., 2005. Peuplement, pastoralisme et modes d'exploitation de la moyenne et haute montagne depuis la Préhistoire dans le Parc national des Écrins. In F. Verdin, A. Bouet (ed.). *Territoires et paysage de l'âge du Fer au Moyen Âge. Mélanges offerts à Philippe Leveau*, Bordeaux, Presses universitaires de Bordeaux, coll. « Ausonius », 197-212.
- MOCCI FL., WALSH K., RICHER S., COURT-PICON M., TALON B., TZORTZIS S., PALET-MARTINEZ J., BRESSY, C., AVEC LA COLLABORATION DE BEAULIEU J.-L. DE, DUMAS V., EDOUARD J.-L., PY V., 2009. Archéologie et paléoenvironnement dans les Alpes méridionales françaises. Hauts massifs de l'Argentiérais, du Champsaur et de l'Ubaye (Hautes-Alpes et Alpes de Haute Provence) (Néolithique final – début de l'Antiquité). In M. Magny, M. Desmet, Fl. Mocci, (ed.). Actes du Colloque du GDR JurAlpes (Aix-en-Provence, 15-16 novembre 2007) « Du Climat à l'Homme, Dynamique holocène de l'environnement », Cahiers de Paléoenvironnement, 6, Chambéry, Éditions Edytem, 235-254.
- MOSKAL-DEL HOYO M., WACHOWIAK M., BLANCHETTE R.A., 2010. Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, 37: 2106-2116.
- OZENDA P., 1994. *Végétation du continent européen*. Paris, Delachaux et Niestlé, 271 p.
- PALET-MARTINEZ J.M., RICOU F., SEGARD M., 2003. Prospections et sondages sur les sites d'altitude en Champsaur (Alpes du Sud). *Archéologie du Midi Médiéval*, 21: 199-210.
- PARISOT M., 1931. Notes sur la vie agricole dans le Haut-Embrunais. *Revue de géographie alpine*, 19, n°14-4: 859-882.
- PY V., 2013. *Nouveaux regards sur l'histoire médiévale de la mine de l'Argentière dans la Haute-Durance*. Service Culturel Municipal de L'Argentière-La Bessée, L'Argentière-La Bessée, coll. « Cahiers du Château Saint-Jean; 10 », 119 p.
- PY V., 2010. Techniques et usages du bois des mineurs à Faravellum aux XI^e-XIII^e s. (Freissinières, Hautes-Alpes). In Cl. Delhon, I. Théry-Parisot, S. Thiébault (ed.), Des hommes et des plantes. Exploitation du milieu et des ressources végétales de la Préhistoire à nos jours, proceedings of the XXXth Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes. Éditions APDCA, Antibes, p. 293-321.
- PY V., 2009. *Mine, bois et forêt dans les Alpes du Sud au Moyen Âge. Approches archéologique bioarchéologique et historique*. Thèse de doctorat, Université de Provence Aix-Marseille I, France. 1332 p. (2 vol.) et 116 p. (annexes).
- PY V., 2006. Mine charcoal deposits : methods and strategies. The medieval Fournel silver mines in the Hautes-Alpes (France). In A. Dufraisse (ed.). *Charcoal analysis : New analytical tools and methods for archaeology*. Papers from the table-ronde held in Basel, British Archaeological Reports International Series S, vol. 1483. Archaeopress, Oxford, 35-46.
- PY V., 2005. Coste de Tonis II (Freissinières). *Bilan Scientifique de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur* 2004, DRAC, SRA PACA: 59-61.
- PY V., ANCEL B., 2007. Exploitation des mines métalliques de la vallée de Freissinières (Hautes-Alpes, France) : contribution à l'étude de l'économie sud-alpine aux IX^e-XIII^e siècles. *Preistoria Alpina*, 42: 83-93.
- PY V., ANCEL B., DURAND A., 2015. La gestion de la forêt pour la mine et le charbonnage dans la Haute-Durance du X^e au XIII^e siècle. In A. Corvol, Ch. Dereix, P. Gresser, F. Lormant (ed.), *Forêt et montagne*, Actes du colloque international de Chambéry, 12-14 septembre 2012, Paris, L'Harmattan, 53-75.
- PY V., ANCEL B., MARCONNET Ch., 2012. De l'usage minier du feu : sources et expérimentations. *Cahiers d'Histoire des Techniques*, n° 8, Études offertes à G. Comet (A. Durand, dir.), PUP, Aix-en-Provence, 133-153.
- PY V., DURAND A., 2010. Évolution des écosystèmes et des pratiques agrosylvopastorales et minière pour la production de bois de feu dans le haut Champsaur et la haute Durance (France) de l'âge du Bronze ancien au XVI^e siècle. In S. Stortzis, X. Delestre (ed.), *Archéologie de l'espace montagnard: confrontation d'expériences européennes*, *Archéologie de la montagne européenne*, Actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre-1^{er} octobre 2008, Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine, 4, Paris, Errance, 283-292.
- PY V., DURAND A., ANCEL B., 2013. Anthracological analysis of wood fuel used for firesetting in medieval metallic mines of the Faravel district (southern French Alps). *Journal of Archaeological Science*, 40: 3878-3889.
- PY V., VÉRON A., EDOUARD J.-L., BEAULIEU J.-L. DE, ANCEL B., SEGARD M., DURAND A., LEVEAU Ph., 2014. Interdisciplinary characterisation and environmental imprints of mining and forestry in the upper Durance valley (France) during the Holocene. *Quaternary International*, 353: 74-97.
- RAMSEY C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51 (1): 337-360.
- REIMER P.J., BAILLIE M.G.L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P.G., BRONK RAMSEY C., BUCK C.E., BURR G.S., EDWARDS R.L., FRIEDRICH M., GROOTES P.M., GUILDERSON T.P., HAJDAS I., HEATON T.J., HOGG A.G., HUGHEN K.A., KAISER K.F., KROMER B., MCCORMAC F.G., MANNING S.W., REIMER R.W., RICHARDS D.A., SOUTHON J.R., TALAMO S., TURNER C.S.M., VAN DER PLICHT J., WEYHENMEYER C.E., 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51 (4): 1111-1150.
- ROSTAN P., ROSSI P., 2002. Approche économique et industrielle du complexe minier et métallurgique de Saint-Véran (Hautes-

- Alpes) dans le contexte de l'Age du Bronze dans les Alpes du sud. *Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Archéologiques Alpines*, 13: 77-96.
- SEGARD M., WALSH K., COURT-PICON M., 2003. L'occupation de la haute montagne dans les Alpes occidentales. Apport de l'archéologie et des analyses paléoenvironnementales. In G. Boëtsch, W. Devriendt, A. Piguel (ed.). *Permanences et changement dans les sociétés alpines : État des lieux et perspectives de recherches*. Edisud, Aix-en-Provence, 17-30.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1978. *Mikroskopische holzanatomic : Anatomie microscopique du bois*. Birmensdorf, Institut Fédéral de Recherches Forestières (Suisse), Zürcher AG, Zug. 226 p.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1990. *Anatomie europäischer hölzer : Anatomie of European woods*. Haupt, Stuttgart. 800 p.
- SHACKLETON C.M., PRINS F., 1992. Charcoal analysis and the principle of least effort- a conceptual model. *Journal of Archaeological Science*, 19, 1992: 631-637.
- SLOTTE H., 2006. Récolte traditionnelle de fourrage de feuilles dans les pays nordiques, contribution. In Premier colloque européen sur les trognes, Vendôme, 26, 27, 28 octobre 2006, 2 p.
- TALON B., 2010. Reconstruction of Holocene high-altitude vegetation cover in the French southern Alps: evidence from soil charcoal. *The Holocene*, 20 (1): 35-44.
- TALON B., 1997. Étude anatomique et comparative de charbons de bois de *Larix decidua* Mill. et de *Picea abies* (L.) Karst. *Comptes rendus Académie des sciences*, 320: 581-588.
- TALON B., CARCAILLET C., THINON M., 1998. Études pédoanthracologiques des variations de la limite supérieure des arbres au cours de l'Holocène dans les Alpes françaises. *Géographie physique et Quaternaire*, 52: 193-206.
- THÉRY-PARISOT I., 2001. Économie des combustibles au Paléolithique. CNRS, Paris. 195 p.
- THIÉBAULT S., 2005. L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique. *Anthropozoologica*, 40, 1: 95-108.
- TZORTZIS S., MOCCI FL., WALSH K., TALON B., COURT-PICON M., DUMAS V., PY V., RICHER S., 2008. Les massifs de l'Argentiérois du Mésolithique au début de l'Antiquité : au croisement des données archéologiques et paléoenvironnementales en haute montagne (Hautes-Alpes, Parc National des Écrins). In Richard, H., Garcia, D. (ed.), « Le peuplement de l'arc alpin », Actes du 131e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, CTHS, Grenoble, 123-148.
- VERNET J.-L., OGEREAU P., FIGUEIRAL I., MACHADO YANES C., UZQUIANO P., 2001. *Guide d'identification des charbons de bois préhistoriques et récents, Sud-Ouest de l'Europe : France, Péninsule ibérique et Îles Canaries*. Paris, CNRS, 395 p.
- WALSH K., 2005. Risk and marginality at high altitudes: new interpretations from fieldwork on the Faravel Plateau, Hautes-Alpes. *Antiquity*, 79: 289-305.
- WALSH K., MOCCI FL., 2003. 9000 ans d'occupation du sol en moyenne et haute montagne: la vallée de Freissinières dans le Parc national des Écrins (Freissinières, Hautes-Alpes). *Archéologie du Midi Médiéval*, 21: 185-198.
- WALSH K., MOCCI FL., COURT-PICON M., PALET MARTINEZ J.M., TZORTZIS S., AVEC LA COLLAB. DE, DUMAS V., PY V., SEGARD M., TALON B., 2005. Dynamique du peuplement et activités agro-pastorales durant l'âge du Bronze dans les massifs du haut Champsaur et de l'Argentiérois (Hautes-Alpes). *Documents d'Archéologie Méridionale*, 28: 25-44.
- WALSH K., RICHER S., BEAULIEU J.-L. DE, 2006. Attitudes to altitude: changing meanings and perceptions within a « marginal » Alpine landscape e the integration of palaeological and archaeological data in a high altitude landscape in the French Alps. *World Archaeology*, 38: 436-454.
- WALSH K., MOCCI FL., PALET-MARTINEZ J.M., 2007. Nine thousand years of human/ landscape dynamics in a high altitude zone in the southern French Alps (Parc National des Écrins, Hautes-Alpes). In P. Della Casa, K. Walsh (ed.). Actes de la session montagne « Interpretation of sites and material culture from mid-high altitude mountain environments », colloque de l'European Association of Archaeologists, Lyon, septembre 2004. *Preistoria Alpina*, 42: 9-22.
- WALSH K., MOCCI FL., TZORTZIS S., BRESSY C., TALON B., RICHER S., COURT-PICON M., DUMAS V., PALET-MARTINEZ J., 2010. Les Écrins, un territoire d'altitude dans le contexte des Alpes occidentales de la Préhistoire récente à l'âge du Bronze (Hautes-Alpes, France). In S. Tzortzis, X. Delestre (ed.), *Archéologie de la montagne européenne*. Proceedings of the International workshop of Gap. Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine 4. Errance, Paris: 211-225.
- WALSH K., COURT-PICON M., BEAULIEU J.-L. DE, GUITER F., MOCCI FL., RICHER S., SINET R., TALON B., TZORTZIS S., 2014. A Historical ecology of the Ecrins (Southern French Alps): archaeology and palaeoecology of the Mesolithic to the Medieval period. *Quaternary International* 353, 52-73.